

Beiträge zur Physiologie des Raumsinns.

Dritter Theil.

Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen durch das Ohrlabyrinth.

Von
E. v. Cyon.

(Mit 45 Textfiguren.)

Inhalt:

	Seite
1. Einleitung	139
2. Versuchsmethoden	146
3. Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen im Dunkeln bei aufrechter Kopf- und Körperstellung	153
4. Täuschungen in der Wahrnehmung der verticalen und horizontalen Richtungen bei Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse	156
5. Täuschungen bei Drehungen des Kopfes um seine verticale und horizontale Achsen	166
6. Täuschungen in den sagittalen und transversalen Richtungen	174
7. Einfluss der Augenstellungen auf die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen	182
8. Einfluss der Schallerregungen auf Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen	194
9. Täuschungen über die Richtungen der Schallreize	205
10. Täuschungen über die Herkunft der entotischen Geräusche	210
11. Neue Versuche über das Wesen der Aubert'schen Täuschung	212
12. Täuschungen über die Parallelrichtung	221
13. Deutung der in dieser Untersuchung beobachteten Erscheinungen	230
14. Nachwort	245
15. Berichtigung	248

I. Einleitung.

Das Studium der Sinnestäuschungen bildet eines der vorzüglichsten Hilfsmittel, um uns den inneren Mechanismus der Verrichtungen der höheren Sinne verständlich zu machen. Die Täuschungen,

denen unter gewissen, willkürlich erzeugten, oder von der Natur gegebenen Bedingungen, unsere Wahrnehmungen der äusseren Gegenstände unterliegen, sind auch von besonderer Bedeutung, wenn es sich darum handelt, auf Grundlage der von der Sinnesphysiologie festgestellten Thatsachen und Gesetze, in das psychologische Gebiet einzudringen.

Ein solches Eindringen wird zwar in der letzteren Zeit der Physiologie von mehreren Seiten untersagt, und zwar, nicht etwa allein von den Philosophen, die das Gebiet der Psychologie für sich reserviren wollen, sondern auch von manchen Physiologen. „Die Physiologie ist die Lehre von den körperlichen Lebenserscheinungen“, schrieb unlängst Verworn in seiner ideenreichen und anregenden Einleitung (1). Daher müssen „alle psychischen Dinge der Physiologie fern, und der Psychologie überlassen bleiben“. „Die Physiologie ist allein die Lehre von den objectiven Lebenserscheinungen.“ Also „die subjectiven (Erscheinungen), die nur durch eigene innere Erfahrung wahrgenommen werden können, bilden das Gebiet der Psychologie im engeren Sinne“. Der Physiologe soll daher auch das Studium der subjectiven Lebenserscheinungen aufgeben.

Abgesehen davon, dass der Verzicht der Physiologie auf das Studium der psychologischen Processe, weil sie „die Lehre von den körperlichen Lebenserscheinungen“ sein soll, gleichbedeutend wäre mit der gewagten Annahme, die psychischen Processe seien von den körperlichen Erscheinungen unabhängig, erregt die von Verworn vorgeschlagene Einschränkung der Physiologie auf die objectiven Lebenserscheinungen noch andere gewichtige Bedenken. Denn, wenn der Physiologe sich das Studium der subjectiven Erscheinungen untersagen sollte, müsste er auf das ganze Gebiet der Sinnesfunctionen verzichten, d. h. gerade auf das Gebiet, wo die exacte Physiologie ihre schönsten Triumphe gefeiert hat.

Das Unternehmen von Th. Beer, Uexküll und einiger anderer vergleichenden Physiologen, die Functionen der Sinnesorgane an niederen Organismen zu studiren, ist zwar sehr anerkennungswerth, und wird in der Hand dieser Forscher sicherlich zu wichtigen Aufklärungen, nicht allein anatomischer Natur führen. Man darf aber nicht verkennen, dass man mit der Psychologie der niederer Thiere in nicht allzuferner Zeit an eine Grenze gelangen wird, über welche hinaus derjenige Physiologe, der „die Lösung jener grossen Räthsel zu finden hofft, um derentwillen er der Lösung der kleinen seine

Tage widmet“ (E. Hering), sich gezwungen sehen wird, zu Beobachtungen am Menschen und eventuell auch zu subjectiven Beobachtungen zurückzukehren.

Die Nothwendigkeit derartiger Versuche, um die Functionen des Raumsinnorgans allseitig aufzuklären, zeigte sich schon gegen Ende der siebziger Jahre, als ich die Lehre von diesen Functionen zuerst ausführlich entwickelt habe. Schon damals stellte ich eine grössere Anzahl von Versuchen über unsere räumlichen Täuschungen an, deren Ergebnisse es mir gestatteten, meine Auffassung der Labyrinthverrichtungen näher zu begründen. So z. B. gelang es mir schon damals, den Nachweis zu liefern, dass, entgegen den derzeit vorherrschenden irrthümlichen Vorstellungen, die sogenannten Geschwindigkeits- und Beschleunigungsempfindungen in keinerlei Beziehung zum Ohrlabyrinth stehen (2).

Besonders wichtig aber war die bei dieser Reihe von Versuchen gewonnene Möglichkeit, die wahre Natur des Gesichtsschwindels zu erkennen. Meine Versuchsergebnisse gestatteten es, die richtige Bedeutung der auf diesem Gebiete bahnbrechenden Versuche und Lehren Purkinje's über den Ursprung und Ursachen des Drehschwindels richtig zu würdigen und von Neuem zur Geltung zu bringen.

Nachdem ich die verschiedenen Formen des Schwindels analysirt habe kam ich zu Schlüssen, die hier durch einige Auszüge aus dem betreffenden Kapitel zesumirt werden sollen:

„Die Illusion einer scheinbaren Bewegung muss eintreten, so bald ein Mangel an Uebereinstimmung zwischen unserer Sinneswahrnehmung und unserer Vorstellung des idealen Raumes besteht“

„Um die Art und Weise, wie ich den Mechanismus des Schwindels auffasse, recht anschaulich zu machen, werde ich mich folgenden Bildes bedienen, welches, obwohl es im Vergleich mit der bewunderungswürdigen Feinheit der uns beschäftigenden nervösen Functionen ziemlich grober Art ist, dennoch am besten geeignet zu sein scheint, meine Idee klar wiederzugeben“.

„Nehmen wir ein die drei Dimensionen des Raumes repräsentirendes Coordinatensystem an. . . . Auf dieses System übertragen wir eine Zeichnung, welche den gesehenen Raum, d. h. das Bild unseres Gesichtsfeldes darstellt. Jedes Mal, wenn diese Zeichnung ihre Lage im Verhältniss zu diesem Coordinatensystem ändern wird, werden wir die Empfindung der Bewegung wahrnehmen, sei es, dass diese Aenderung durch eine wirkliche Bewegung der äusseren Gegenstände, sei es, dass sie nur durch eine Verschiebung der Retina erzeugt werde, der Effect wird immer derselbe sein: „wir werden die Bewegung der Gegenstände wahrnehmen“ . . . (2, S. 324).

Die zwingende Deduction aus dieser Auffassung des Gesichtsschwindels war die, dass angeborene Taubstumme, deren Ohrlabyrinth verkrüppelt oder sonst functionsunfähig ist, — dem Sehschwindel gar nicht unterliegen dürfen. Dieser rein theoretische Schluss wurde mehrere Jahre später durch Versuche an Taubstummen, die zu ganz anderen Zwecken unternommen wurden, von James, Bruck, Strehl und A. in der überzeugendsten Weise bestätigt. Nicht allein der durch Drehungen erzeugte Gesichtsschwindel ist den meisten angeborenen Taubstummen unbekannt, sondern auch der durch die Seekrankheit erzeugte: Solche Taubstumme werden nie seekrank, wie dies aus meiner Erklärung des Schwindels bei der Seefahrt schon a priori abzuleiten war¹⁾.

Als ein wichtiges Ergebniss meiner früher mitgetheilten, hierher gehörenden Beobachtungen über Täuschungen in den Richtungsempfindungen soll hier besonders hervorgehoben werden, dass solche Täuschungen sich immer nur auf den Sinn der Richtungen, nicht aber auf die spezifische Natur der Richtungsempfindungen beziehen²⁾.

Wir täuschen uns über Rechts oder Links, über Oben oder Unten (bei dem Ballonaufsteigen³⁾, Vorne oder Hinten (bei Eisenbahnfahrten); nie aber verwechseln wir die verticale Richtung mit der horizontalen oder letztere mit der sagittalen. Wenigstens ist mir keine einzige Beobachtung bekannt, wo eine derartige Täuschung über die specifischen Richtungsempfindungen vorgekommen wäre.

Bei allen bisher von mir und von anderen Beobachtern beschriebenen Täuschungen, bei denen die Betheiligung des Ohrlabyrinths angenommen werden musste, handelte es sich aber um Erscheinungen, die gleichzeitig mit Hülfe der Gesichts- und Tastempfindungen zu unserer Wahrnehmung gelangten. Bei der Erzeugung

1) Siehe 2. § 26. S. 322.

2) Siehe 7. Capitel. 2.

3) Bei der Ballonfahrt, wo die Bewegung meistens ohne jede Erschütterung oder Verschiebung unserer verschiedenen Körpertheile stattfindet, wo also Erregungen der sensiblen Gebilde, Knorpeln, Sehnen, Knochen, Muskeln, und sogar der Haut (bei Abwesenheit von Winden) fehlen, empfindet man auch meistens weder Beschleunigungen noch Geschwindigkeiten. Mit geschlossenen Augen ist man nicht im Stande zu unterscheiden, ob man hinauf- oder heruntersteigt. Bei Zuhülfenahme des Gesichtssinnes erscheinen beim Aufsteigen die auf der Erdoberfläche befindlichen Gegenstände sich von uns zu entfernen, beim Absteigen uns zu nähern. Nicht wir, sondern die äusseren Gegenstände scheinen also in Bewegung zu sein.

einiger dieser Täuschungen befanden sich ausserdem entweder der Beobachter selbst, oder die sichtbaren resp. betasteten Gegenstände in Bewegung.

Die Täuschungen beruhten also meistentheils auf irrthümlichen Projectionen des Seh- oder Tastfeldes auf das Coordinatensystem des Bogengangapparates, d. h. des Seh- und Tastraumes auf den idealen geometrischen Raum, der uns von dem Ohrlabyrinth geliefert wird. Die Analyse solcher Täuschungen war daher oft mit grossen Schwierigkeiten verbunden, da es meistens unmöglich war, den Antheil, welcher dem Ohrlabyrinth zukam, von dem zu sondern, der auf Rechnung der Seh- oder Tastorgane zu stellen war. Man erinnere sich nur der vielen Controversen, zu welchen die Deutung der Täuschungen bei Drehversuchen, seit Purkinje bis auf die letzte Zeit, Veranlassung gegeben hat.

Es bedürfte jahrelanger unzähliger Drehversuche, angestellt an Menschen und an den verschiedensten Thieren, um allein die Nichtbetheiligung des Ohrlabyrinths an vielen dieser Täuschungen darzuthun (Siehe 3).

Bei dem jetzigen Stand der Lehre von Verrichtungen des Ohrlabyrinths, wo die wirklichen physiologischen Beziehungen zwischen dem Sinnesorgane für die Richtungsempfindungen und den übrigen Sinnesorganen, besonders dem Sehorgane, in den Hauptzügen geklärt sind, ist es an der Zeit, die Täuschungen in der Wahrnehmung dieser Empfindungen möglichst unabhängig und gesondert von denen der Seh- und Tastempfindungen zu studiren. Man muss also bei der Analyse der Irrthümer, denen unsere Orientirung in äusserem Raume unterliegt, in erster Reihe alle die Täuschungen, die auf der rein optischen Orientirung, d. h. also auf der Orientirung durch die Gesichtseindrücke, und eventuell auch diejenigen, die durch Vermittlung der oculomotorischen Apparate zu Stande kommen, ausschliessen. Bei der vollkommenen Beherrschung dieser letzteren Apparate durch das Ohrlabyrinth ist ein solcher Ausschluss gewiss keine leichte Aufgabe, wie dies im Laufe dieser Untersuchung mehrmals sich zeigen wird. Dagegen kann man die alleinigen Täuschungen durch Gesichtseindrücke schon viel leichter beseitigen, indem man sämtliche Versuche über die Täuschungen der Richtungsempfindungen in vollkommen dunklem Raume bei absolutem

Ausschluss aller Lichtreize, auch der momentanen, anstellt.

Die Versuche, über welche hier berichtet wird, sind zum grössten Theil unter solchen Bedingungen ausgeführt worden. Wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird, sind dabei meistens Methoden von der grösstmöglichen Einfachheit und Eindeutigkeit gewählt worden. Dies erschien von Anfang an als eine nothwendige Vorbedingung, um, aus den vielen Versuchen über Täuschungen, möglichst klare und übereinstimmende Resultate zu erhalten. Die Versuche mussten an einer grösseren Anzahl von Personen angestellt werden, und zwar vorzugsweise an solchen, die ohne jede Voreingenommenheit sich den Versuchsbedingungen unterziehen. Sie durften, soweit möglich, von dem Zweck der Versuche nicht unterrichtet sein und gar nicht ahnen, dass es sich um Beobachtungen von Täuschungen handelte.

Ein nicht minder nothwendiges Erforderniss war es, die erhaltenen Resultate ganz unabhängig von den mündlichen Angaben der Versuchspersonen zu machen.

Die Ergebnisse dürften von den individuellen Urtheilen derselben in keiner Weise beeinflusst werden können: sie mussten also graphisch von den Personen aufgezeichnet werden, ohne dass die Letzteren, wenigstens bei den ersten Prüfungen, willkürlich die Aufzeichnungen ändern könnten.

Die Einfachheit der angewandten Methoden zeigt, dass diese Ziele leichter zu erreichen waren, als dies a priori erscheinen könnte. Die grosse Gesetzmässigkeit, mit der die beobachteten Täuschungen bei den verschiedensten Individuen auftreten, legt Zeugniss dafür ab, dass die gewählten Methoden den Erwartungen auch wirklich entsprochen haben.

Da die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen unter variablen Bedingungen studirt werden sollten, so mussten die gewählten graphischen Methoden auch gestatten, die Intensität der Täuschungen zu messen. Nur unter dieser Bedingung waren vergleichende Versuche möglich, und konnte man erhoffen, durch die erhaltenen Zeichnungen verwertbare Aufschlüsse über den intimen Mechanismus der Raumsinnfunctionen zu erlangen. Wie im nächsten Abschnitt ersichtlich, vermochten die gewählten Methoden auch dieser Bedingung Genüge zu leisten.

Die Bedeutung der erzielten Ergebnisse für das Verständniss der physiologischen Verrichtungen des sechsten Sinnes, der Natur seiner normalen Erreger, sowie seiner Beziehungen zu den anderen Sinnesorganen, besonders zum Gesichtssinn, wird aus den folgenden Abschnitten hervortreten. Gerne hätte ich diese Untersuchungen noch mehr vervielfacht und auf eine grössere Anzahl von Personen ausgedehnt.

Besonders wäre es mir erwünscht, Kontrollversuche an geborenen Taubstummten anstellen zu können. Unglücklicher Weise wurde ich daran durch ein schweres Leiden, das mich seit September 1901 ans Krankenlager fesselt, verhindert. Mein Gesundheitszustand liess leider keine Hoffnung zu, dass ich persönlich noch die Versuche werde aufnehmen können. Ich durfte daher mit der Veröffentlichung der schon gewonnenen Ergebnisse nicht länger zögern und habe die wichtigsten Ergebnisse daher vorläufig mitgetheilt (4). Jetzt sollen, soweit mein precärer Gesundheitszustand es gestattet, noch die Methoden und die Versuche hier ausführlich beschrieben, und die in der vorläufigen Mittheilung gegebenen Deutungen und Schlüsse näher entwickelt werden. Mögen nun competente Fachgenossen, an der Hand der schon erprobten Methoden, die Verrichtungen des Orlabyrinths, als Organ für unsere Raum- und Richtungsempfindungen, weiter entwickeln.

Die bekannten Versuche von Yves Delage „über statische Empfindungen und Täuschungen bezüglich der Richtungen im Raume“ (5) wurden auf Voraussetzungen gegründet, die mit den hier entwickelten Analogien haben. Yves Delage wollte, mit Hülfe dieser Versuche über die Täuschungen, die Richtigkeit meiner Lehre über die Rolle des Orlabyrinths als Raum- und Richtungsorgans prüfen. Leider war er damals noch zu sehr von der Goltz-Mach-Breuer'schen Hypothese über die Rolle der Endolymphströmungen als Erreger der Bogengangsnerven eingenommen. Als daher die Ergebnisse seiner Versuche mit dieser Hypothese nicht zu versöhnen waren, schloss Delage, diese Täuschungen rührten nicht von dem Orlabyrinth her. Der Schluss war schon insofern ungerechtfertigt, als ich ja die volle Unhaltbarkeit der Endolymphhypothese längst nachgewiesen habe. Meine Lehre von der Rolle der Bogengänge¹⁾ war also ganz unabhängig von

1) Delage betrachtete auch bei seinen Ueberlegungen „die halbkugelförmigen Canäle und den Utriculus“ als eine „häutige kugelförmige Blase“, was selbstverständlich im vollen Widerspruche mit meiner schon im Jahre 1873 ausgesprochenen Auffassung jedes einzelnen Bogengangpaares, als mit der einen Grundrichtung des Raumes in Beziehung stehend (2, S. 264), war.

dieser Hypothese und konnte von der Unmöglichkeit, seine Ergebnisse mit letzterer zu versöhnen, keineswegs berührt werden. Auch waren die Versuchsmethoden von Yves Delage gar nicht derart, dass seine Ergebnisse als vollgültig betrachtet werden könnten. Es liegt nicht in unserer Absicht, auf die Mängel dieser Methoden, wie z. B. die Unmöglichkeit, die Winkelgrößen genau zu messen, die Fehlerquellen, die durch die Ausführungen der Hand- und Körperbewegungen u. s. w. entstehen¹⁾, hier einzugehen. Kein Wunder, dass seine Ergebnisse von mehreren der späteren Beobachter, wie z. B. von Nagel (6) und von mir nicht bestätigt werden konnten.

Wir ziehen es bei Weitem vor, im Laufe dieser Mittheilung nur diejenigen der Ergebnisse von Yves Delage hervorzuheben, die mit den meinigen zum Theil übereinstimmen. Dieser verdienstvolle Forscher, obgleich aus rein metaphysischen Gründen Gegner meiner Raumlehre, hat wichtige experimentelle Bestätigungen meiner tatsächlichen Ergebnisse geliefert, und dies sogar in Fragen, wo dieselben im Widerspruche mit den Behauptungen von Mach u. A. standen²⁾. Besonders werthvoll waren für meine Lehre vom Raumsinne seine schönen Untersuchungen an wirbellosen Thieren, die meine im Jahre 1878 ausgesprochene Hypothese, bei diesen Thieren dienen die Otocysten als Orientirungsorgane, in der glänzendsten Weise bestätigt haben.

2. Versuchsmethoden.

Eine exacte Untersuchung unserer Täuschungen in der Wahrnehmung der drei Grundrichtungen: vertical (oben — unten), horizontal oder transversal (rechts — links) und sagittal (vorne — hinten) muss folgende drei Factoren in Erwägung ziehen: 1. den Sinn der Täuschung, d. h. der Abweichung von der normalen Richtung; so z. B. bei der verticalen Richtung, ob die Schiefstellung nach rechts oder nach links geschieht. 2. Die Grösse dieser Abweichung, d. h. des Winkels, welchen die scheinbare Richtung mit der normalen bildet. 3. Die Täuschungen in der Beurtheilung der gegenseitigen Be-

1) Im Capitel 7 komme ich nur insofern auf diese Methoden zurück, als sie seinen irrthümlichen Schluss, die beobachteten Täuschungen rühren von den Blickrichtungen her, erklären.

2) Siehe 9, Cap. III.

ziehungen der einen Grundrichtung zu den beiden anderen Grundrichtungen, d. h. welcher Art z. B. bei der Täuschung über die verticale Richtung die eventuellen Täuschungen über die sagittale und horizontale seien. Die Beziehungen der gleichzeitigen Täuschungen von zwei oder drei Richtungen unter denselben Verhältnissen ist für die Deutung dieser Täuschungen in ihrer Abhängigkeit von den Bogengängen geradezu von entscheidender Bedeutung. Die Winkel, welche bei gleichzeitiger Bestimmung die drei Richtungen in der Norm mit einander bilden, müssen rechtwinklig sein, — d. h. müssen dem rechtwinkligen Coordinatensystem entsprechen, „das die drei Ebenen des Bogengangapparates darstellen“, also gleich 90° sein.

Anatomisch bilden freilich die drei Bogengänge nicht ganz genau Winkel von 90° . Wie wir übrigens auch bei keiner bildlichen oder körperlichen Darstellung eines rechtwinkligen Coordinatensystems es vermögen absolut genaue gerade Winkel darzustellen. Unter gewöhnlichen Umständen übertragen wir aber die Bilder des Seh- oder Tastfelds nicht gesondert auf das Coordinatensystem des Bogengangapparates der einen oder der anderen Seite, sondern auf ein ideales, in unserem Gehirne durch Congruenz der Empfindungen der beiden Bogengangapparate gebildetes rechtwinkliges Coordinatensystem, in welchem die anatomischen Mängel derselben mehr oder weniger ausgeglichen werden.

Es ist nach der Analogie mit den optischen Fehlern unseres Gesichtsorgans vorauszusetzen, dass dieser Ausgleich kein vollkommener ist. Wenn wir daher die Möglichkeit erlangen könnten, unsere Vorstellungen von den drei Grundrichtungen, in ihrem wahren Zusammenhang, ohne jede Betheiligung der Gesichtsorgane, wiederzugeben, so dürfte eine solche Wiedergabe uns ein annäherndes Bild von den Abweichungen in dem anatomischen Zusammenhange unserer Bogengänge liefern können. Wie wir im Verlaufe dieser Untersuchung sehen werden, treten bei den Täuschungen in den Richtungen, die durch das Ohrlabyrinth bedingt sind, in der That constante individuelle Eigenthümlichkeiten auf, die als persönliche Fehler betrachtet werden müssen, bedingt durch derartige Abweichungen.

Die für das exacte Studium der Richtungstäuschungen erforderliche Methode muss, wie eben gesagt, das genaue Maass der aufgezählten drei Factoren gestatten. Dies ist aber allein durch Anwendung einer graphischen Aufzeichnung dieser Täuschung zu erzielen. Eine solche Aufzeichnung muss ausserdem in einer möglichst

einfachen Weise, ohne Beihülfe von complicirten Vorrichtungen, erlangt werden. Psychische Momente spielen bei den zu untersuchenden Erscheinungen eine entscheidende Rolle; die geringste Verwicklung in der Ausführung der Versuche wird um so mehr deren Ergebnisse beeinflussen, als man solche Experimente an einer grösseren Anzahl von Personen anstellen muss, und dabei vorzugsweise an solchen, die ganz ohne Voreingenommenheit an dieselben gehen und sich keine Rechenschaft von dem Zwecke der von ihnen auszuführenden Manipulationen geben sollen. Am besten ist es, die Versuche erscheinen der Versuchsperson als ein unschuldiges Spiel.

Nach einigen Vorversuchen habe ich folgendem sehr einfachen Verfahren den Vorzug gegeben. Ein Blatt Papier wird auf ein vertical stehendes Brett genau vertical befestigt, und zwar in der Höhe des Kopfes der aufrecht stehenden Versuchsperson. Die Letztere, mit zugebundenen Augen, zeichnet mit dem Bleistift verticale und horizontale Linien, wobei sie sich eines Lineals bedient. Trotz der zugebundenen Augen der Versuchspersonen wurden sämtliche Zeichnungen in absolut dunklem Zimmer ausgeführt. Beim Zeichnen legt die Versuchsperson zuerst das Lineal in der Richtung an, die sie als die verticale resp. horizontale empfindet. Dabei muss darauf Acht gegeben werden, dass nach der Ausführung jeder einzelnen Linie das Lineal (sammt der Hand) von dem Papier abgehoben wird. Das Gleiche gilt auch für die rechte Hand und den Bleistift. In dieser Weise ist man sicher, dass jede neue gezeichnete Richtung von der früher ausgeführten nicht durch die Hände beeinflusst wird.

Handelte es sich darum, sagittale und transversale Richtungen zu reproduciren, so wurde das Blatt auf einen genau horizontal eingestellten Tisch befestigt; die Versuchsperson nahm eine sitzende Stellung ein, wobei sowohl der Kopf als der Oberkörper aufrecht gehalten wurden. Im Abschnitt 6 sind Versuche mitgetheilt, welche feststellen sollten, ob die in dieser Weise gezeichneten geraden Linien wirklich der sagittalen Richtung entsprechen. Dort wird auch die Verwerthungsweise der erhaltenen Zeichnungen näher besprochen.

Die in dieser Weise erhaltenen Zeichnungen gestatten es, die Veränderungen, welche die auf S. 146 aufgezählten drei Factoren durch die gesetzten Versuchsbedingungen erleiden, in ganz genauer Weise zu messen.

Den Sinn der Täuschung jeder Richtung ergibt schon der blosse Anblick der Zeichnung. Um dieselbe genau zu messen, ge-

nügt es, nach dem Versuche, auf dem Papierblatt die normalen Richtungen einzuzeichnen. Die Winkel, die die beiden Verticalen, mit den beiden Horizontalen u. s. w. untereinander bilden, entsprechen, im Allgemeinen, der Stärke der Täuschung.

Meistens wird diese Stärke schon beim blossen Anblick der Kreuzstelle zwischen den verticalen und horizontalen, resp. den sagittalen und transversalen Linien, die im Dunklen gezeichnet wurden, erkannt, und zwar an der Grösse des Winkels, den sie mit einander bilden. Diese Winkelgrössen sind auch in den Figuren überall angegeben. Man darf aber diese Winkelgrössen nicht als absolutes Maass der Intensität der Täuschungen betrachten.

Schon die ersten Versuche ergaben nämlich, dass die Intensitäten der Täuschungen unter denselben Versuchsbedingungen nicht nothwendig den Winkelgrössen proportional seien. Ja, es kommt vor, dass durch die letztere auch der Sinn der Täuschung nicht genau angegeben wird. Aber auch, wenn der Sinn der Täuschungen der nämliche ist und auch deren Stärken zu einander proportional seien, vermögen die Grössen des Kreuzwinkels nicht immer als Maass für diese Stärken gelten: dieselben können gleich 90° bleiben, oder nur wenig von 90° abweichen, und dennoch kann die Täuschung sehr gross gewesen sein.

Diese Winkelgrössen geben uns nämlich Aufschluss über die Beziehungen, die zwischen den Täuschungen in den verschiedenen Richtungen bestehen, d. h. über den wichtigsten und, für uns, den am meisten belehrenden Factor. Das Studium der Richtungstäuschungen beim Menschen ist von hervorragendem Interesse, hauptsächlich, weil es im Stande ist, uns den Mechanismus der Bildung unserer Raum- und Richtungsvorstellungen aufzuklären. In welchem Sinne wir uns unter gegebenen Umständen über die eine oder die andere Richtung täuschen, ist zwar an sich schon interessant; es vermag aber kaum zur Entscheidung der Frage beitragen, in welchem Organ die Richtungsempfindungen erzeugt werden, und in welcher Weise sich, aus der Wahrnehmung der verschiedenen Richtungen, unsere Vorstellung von einem dreidimensionalen Raume bildet.

Für den unbefangenen Forscher, der in den letzten Decennien die allmähliche Entwicklung der Lehre vom Ohrlabyrinth als Organ unserer Raum- und Richtungsempfindungen genau verfolgt hat, kann wohl kein Zweifel mehr bestehen über die entscheidende Bedeutung,

welche die Lage der Bogengänge in drei zu einander senkrecht gestellten Ebenen für die Functionen der Organe des sechsten Sinnes besitzt. Er wird uns daher gewiss in der Behauptung beistimmen, dass beim experimentellen Erzeugen von Richtungstäuschungen, unter willkürlich gewählten abnormen Bedingungen, solche Täuschungen sich kaum auf die eine Richtung beschränken können, ohne dass unsere Wahrnehmungen oder Vorstellungen von den beiden übrigen mit beeinflusst werden.

Der dritte Factor (s. oben S. 146), den ich zu bestimmen suchte, sollte eben belehren, ob dem wirklich so ist. Sieht man von den zu vernachlässigenden anatomischen Abweichungen von 90° , die die Kreuzungswinkel¹⁾ der drei Bogengangebene dar bieten, ab, so könnte man, — wenn die Wiedergabe der Täuschungsgrößen genau wäre, — erwarten, dass, wenn die Versuchsbedingungen in gleichem Sinne und in gleicher Stärke auf die drei Richtungswahrnehmungen einwirkten, die Winkelgrößen in den durch meine Methode erhaltenen Aufzeichnungen gleich 90° bleiben werden.

Häufig genug ist dies auch der Fall, wie aus den folgenden Figuren ersichtlich ist.

Es lässt sich eben bei den meisten hier dargelegten Versuchsreihen die bemerkenswerthe Thatsache feststellen, dass alle Versuchspersonen, auch die, welche keinerlei geometrische Kenntnisse besitzen, das constante unbewusste Bestreben zeigen, bei ihren Zeichnungen den rechten Winkel einzuhalten.

Man kann in den meisten Fällen, wo ein solches Einhalten des rechten Winkels nicht gelingt, darauf schliessen, dass die Versuchsbedingungen entweder den normalen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Richtungswahrnehmungen verwirrt haben²⁾, oder, ihrem Wesen nach, die eine oder die andere Richtungswahrnehmung, vorzugsweise oder ausschliesslich, störend beeinflusst haben³⁾.

Dieses Bestreben zur Einhaltung des rechten Winkels auch im Dunkeln, also beim Mangel jedes sichtbaren Anhaltspunktes für die

1) Diese Abweichungen bedingen den persönlichen Fehler des Beobachters bei der Bestimmung der Richtungen.

2) Siehe z. B. Abschnitt 8.

3) Wie in den Versuchen der Abschnitte 7 und 11.

Bestimmung der Beziehung der gezeichneten Richtung zu den übrigen¹⁾, zeigt, dass wir fortwährend in unserem Geiste das Bild der drei Grundrichtungen in ihren richtigen Beziehungen zu einander anwesend haben, sowie wie dasselbe uns das rechtwinklige Coordinatensystem das der Bogengangebenen liefert. Kinder sowie erwachsene Personen, des Zeichnens unkundig, die die Zwecke der Versuche gar nicht ahnen, bekunden dasselbe Bestreben, die rechten Winkel einzuhalten und sind beim Anblick ihrer Zeichnung von deren Regelmässigkeit höchst überrascht.

Es ist für das Resultat der Zeichnung ganz gleichgültig, welche Richtung vorher aufgezeichnet wird. Meistens wird am natürlichsten die verticale Linie vorher ausgeführt. Kehrt man aber die Ordnung um, und lässt die horizontale Linie vorher zeichnen und dann die verticale nachfolgen, so hat dies keinerlei Einfluss auf die Winkelgrösse der Kreuze. Man richtet sich beim Zeichnen also keineswegs nach der Richtung der ausgeführten Verticalen, sondern führt die horizontale Linie in der Weise aus, dass sie mit der unter den gegebenen Umständen scheinbar wahrnehmbaren Verticalen einen Winkel von 90° bildet.

Im Beginn der Versuche prüfte ich einige Verfahren, die gestatten sollten, alle drei Richtungen auf demselben Blatt Papier aufzuzeichnen. Dies biete aber gewisse Schwierigkeiten, die in Anbetracht der Versuchsbedingungen fast unüberwindlich erschienen.

Ich zog es daher vor, die vertical-horizontalen Richtungen gesondert von den sagittal-horizontalen zu zeichnen.

Aus der Zusammenstellung der betreffenden zwei Zeichnungen könnte man das Verhältniss der Sagittalen zur Verticalen bestimmen. Vorläufig war aber eine solche Bestimmung für mich nicht durchaus erforderlich.

Bei der gegebenen Ausführungsweise der Zeichnungen wurde die Richtung eigentlich schon durch das blosse Anlegen des Lineals bestimmt. Letzteres wurde, wie gewöhnlich, von der linken Hand geführt, während der Bleistift sich in der rechten befand.

Es war aber von Interesse, zu eruiren, ob die Führung des Lineals mit der rechten Hand auf die Fehler der Richtungsbestimmung von irgend welchem Einfluss sein könne. Es wurden dazu specielle Versuche an den Personen angestellt, welche bei meiner Untersuchung

1) Häufig berühren sich die Linien gar nicht; sie bilden erst das Kreuz bei ihrer Verlängerung.

am häufigsten verwendet wurden. Es stellte sich nun Folgendes heraus. Auf den Sinn der Abweichungen, also auf die Natur der Täuschungen, übt diese Aufzeichnungsweise keinerlei Einfluss aus. Dagegen pflegen dabei die Differenzen in den Winkelgrössen häufig etwas stärker auszufallen, als bei der gewöhnlichen Föhrung des Lineals.

Dies weist jedenfalls darauf hin, dass in der Erzeugung der Täuschungen die Ausführung der Zeichnungen durch die Hände eine kleine Fehlerquelle schaffen kann, nämlich was die Intensität derselben anbetrifft. Auf den Sinn der Täuschung ist die Ausführungsweise ohne jeden Einfluss. Dies soll mit anderen Worten sagen, dass die Täuschungen sicherlich nicht durch anormale Empfindungen der Hände oder Arme erzeugt werden.

In noch überzeugenderer Weise wird dies durch folgenden Controlversuch demonstrirt: Werden die Zeichnungen im Dunkeln mit dem Bleistift von freier Hand -- ohne Zuhölfenahme des Lineals -- ausgeführt, so entstehen bei den Drehungen des Kopfes um seine Achsen ganz dieselben Täuschungen wie bei der gewöhnlichen Ausführungsweise. Die Linien werden aber nicht genau gerade gezeichnet, die Winkelgrössen sind also nur annähernd zu bestimmen. Die Abweichungen der Grundrichtungen von den normalen behalten aber denselben Charakter wie bei Benutzung des Lineals; auch die Kreuzwinkel scheinen nicht wesentlich verschieden zu sein.

Die grosse Gesetzmässigkeit, mit welcher bei verschiedenen Personen und unter den variabelsten Versuchsbedingungen, die Täuschungen ihrem Sinne und ihrer Intensität nach in meinen Versuchen sich äusserten, zeigt, dass trotz ihrer grossen Einfachheit meine graphische Methode sich mit grosser Sicherheit anwenden lässt.

Die hier mitgetheilten Versuche sind an mir selbst und noch an sieben Personen angestellt worden. Von den Letzteren sind nur zwei, die unten als M. und G. bezeichnet werden, während mehrerer Monate zu Versuchen verwendet worden. Die übrigen fünf Personen werden nur zeitweise zu Controlversuchen herangezogen. Es ist, wie gesagt, von Wichtigkeit, zu solchen Versuchen möglichst ganz unbefangene Personen zu verwenden, die weder von dem Zweck noch von dem Sinn der Versuche unterrichtet sind. Einige dieser Personen, die gute Zeichner waren, fanden sich in ihrer Eigenliebe verletzt, als sie der begangenen Irrthümer in den Zeichnungen gewahr wurden, und suchten bei den folgenden Prüfungen diese Irr-

thümer wieder gut zu machen. Meistens gelang es ihnen nur, dieselben noch zu vergrössern. Sie wollten sich daher nicht mehr zu den Versuchen hergeben.

Am sichersten ist es daher, die an solchen Versuchspersonen gewonnenen Zeichnungen selbst zu verwerthen, ohne ihnen dieselben vorzuzeigen, solange die Versuchsreihe nicht beendet ist.

Die Fig. 1—41, welche von den Täuschungsversuchen herrühren, sind nach den Originalzeichnungen photographirt und um $\frac{1}{2}$ oder $\frac{2}{3}$ verkleinert worden. Die Zahlen, welche die Winkelgrössen angeben, sind durch Messungen an den Originalzeichnungen gewonnen worden. Die Bezeichnungen rechter und linker Winkel beziehen sich im Text auf die oberen Winkel. In den meisten Versuchen wurden Drehungen des Kopfes um seine verschiedenen Achsen ausgeführt. Die Linien *AV*, bedeuten die verticalen Richtungen bei aufrechten Körperstellungen; *LV* und *RV* bei Links- und bei Rechtsdrehungen des Kopfes; *AH*, *LH* und *RH* bezeichnen die entsprechenden horizontalen, *AS*, *LS* und *RS* die sagittalen Richtungen, die bei sitzender Stellung gewonnen wurden. Die näheren Erklärungen finden sich unter den Figuren angeführt.

3. Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen im Dunkeln bei aufrechter Kopf- und Körperhaltung.

Die im Dunkeln bei aufrechter Kopfhaltung auftretenden Täuschungen in der Bestimmung der Richtungen sind zweierlei Art: 1. Man zeichnet jede Richtung abweichend von der normalen. 2. Das Verhältniss zwischen den Richtungen, — d. h. die Winkelgrössen an der Kreuzungsstelle —, weicht mehr oder weniger von der Norm ab. Bei den einen Versuchspersonen tritt die erste Täuschung vorzugsweise in den Vordergrund, bei den anderen die zweite Art; und zwar, ist jede dieser Abweichungen constant bei jedem Individuum, d. h. der Sinn dieser Täuschungen bleibt zu verschiedenen Zeiten bei demselben Individuum derselbe, wenn auch deren Intensität ganz geringen Schwankungen unterliegt. Dies zeigt, dass die Ursache der Täuschung auch eine constante ist, und deren Wahl auf individuelle Verschiedenheiten zurückzuführen ist.

Folgende Beobachtung gibt wichtigen Aufschluss über die anatomische Unterlage dieser persönlichen Fehler: Bei ungeübten Zeichnern tritt vorzugsweise die erste Täuschungsart auf; bei geübten Zeichnern dagegen die zweite.

Die Letzteren geben im Dunkeln meistens die verticale Richtung ganz genau wieder; die horizontale weicht aber bei ihnen merklich von der normalen Richtung ab. Die Abweichungen der Kreuzungswinkel dieser beiden Richtungen erreichen daher bei ihnen eine relativ bedeutende Grösse: 5° bis 8° vom geraden Winkel.

Bei ungeübten Zeichnern, dagegen, weichen sowohl die verticale als die horizontale Richtung merklich von den normalen Richtungen ab: Die Kreuzungswinkel sind aber dennoch kaum um 1° bis 2° vom geraden Winkel verschieden.

Bei aufrechter Kopfstellung sind die Abweichungen in den Winkelgrössen in den von mir ausgeführten Zeichnungen (als *C* in den Figuren bezeichnet) kaum grösser im Dunkeln als bei Beleuchtung. Im Mittel aus 16 Versuchen wich diese Grösse im letzteren Fall um $0,5^{\circ}$, im Dunkeln um 1° von 90° ab. Die Abweichungen von der normalen Richtung durch die Stellung zweier Pfeile angezeigt stellt sich etwa so $\downarrow\rightarrow$ in ersterem Falle; im zweiten Falle so \times . Ich bin ziemlich ungeschickt im Zeichnen.

M. zeichnet vortrefflich und ist auch sehr geübt in Ausführung geometrischer Figuren. Bei Beleuchtung ist die Abweichung der Winkelgrössen bei ihr gleich 0° , und die beiden Richtungen werden genau eingehalten. Im Dunkeln dagegen ist die Verticale annähernd richtig angegeben; die Horizontale dagegen weicht auffallend ab $\downarrow\rightarrow$. Die Winkeldifferenz erreichte im Mittel von 11 Versuchen den Werth von $3,5^{\circ}$. (Maximalabweichung = 6° ; Minimalabweichung = 1° .)

G., mein zehnjähriger Knabe, hat zum ersten Male bei Gelegenheit dieser Versuche gezeichnet. Im Hellen sind seine Winkeldifferenzen meistens gleich 0° ; im Dunkeln erreichten sie einen Maximalwerth von 2° , einen Minimalwerth von 1° . Die Abweichungen von den normalen Richtungen waren aber in beiden Fällen sehr ausgesprochen: \times im zweiten Fall und $\downarrow\rightarrow$ im ersten.

Die Versuchsperson F., von welcher die Tabelle 4 herrührt, erinnert sich nicht, je gezeichnet zu haben. Sowohl bei Beleuchtung, als im Dunkeln zeigten die Richtungen bei aufrechter Kopfhaltung keine merklichen Abweichungen; im zweiten Falle war die Horizontale ein wenig von rechts nach links geneigt. Die Winkeldifferenzen waren 1° und 2° . In einigen Zeichnungen ausgeführt drei Monate später blieben die Verhältnisse dieselben.

Bei einer fünften Person, die vortrefflich zeichnete, waren die Verticalen sowohl im Hellen, als auch in der Dunkelheit absolut richtig. Die horizontalen Linien neigten aber im Dunkeln so weit von rechts nach links ab, dass die Winkeldifferenz, statt um 0° , oft um 8° von 90° abzuweichen pflegte.

In demselben Sinne zeigten sich die Veränderungen bei den zwei anderen Personen, von denen die eine eine sehr gute Zeichnerin war.

Wie erklärt sich nun diese auffallende Ungeschicklichkeit der gewohnten Zeichner, wenn sie im Dunkeln die Richtungen angeben?

Am einfachsten in der Weise, dass dieselben gewöhnt sind, mit Hilfe des Gesichtssinnes die Fehler der Richtungswahrnehmungen, die vom Ohrlabyrinth herrühren, zu corrigiren.

Ohne Beleuchtung machen sie wohl Anstrengungen, mit Hilfe des Gedächtnisses, diese Correction auszuführen. Für die verticale Richtung gelingt ihnen dies häufig genug. Dagegen sind bei der horizontalen diese Anstrengungen oft daran schuld, dass sie die Fehler des Richtungssinns noch übertreiben, und, merkwürdiger Weise, zeichnen sie diese Richtung zu sehr von rechts nach links geneigt.

Die auf geringen anatomischen Abweichungen in der Lage der beiden Bogengangpaare beruhenden persönlichen Fehler der ungeübten Zeichner kommen dagegen sowohl beim Zeichnen im Dunkeln, als im Hellen in demselben Sinne und dem gleichen Maasse vor. Die Hilfe, welche ihnen der Gesichtssinn bei der Correction dieses Fehlers leistet, ist relativ gering. Die Differenzen in den Winkelgrößen können daher bei ihnen wirklich als Anzeichen über die Natur der individuellen anatomischen Abweichungen in dem Baue der beiden Bogengangapparate gelten.

Die Thatsache, dass bei ungewohnten Zeichnern die Winkelgrößen trotz der bedeutenden Abweichungen in den Richtungen dennoch nur sehr geringe Schwankungen um 90° zeigen, bietet noch ein anderes Interesse.

Sie veranschaulicht das Bestreben zur Einhaltung des rechten Winkels, von dem im vorigen Abschnitt des Längeren die Rede war. Für Gewohnheitszeichner, die sich immer des Gesichtssinnes beim Zeichnen bedienen, hat dieses Bestreben nur geringe Bedeutung, und diese Function des Ohrlabyrinths spielt gewöhnlich bei ihnen eine untergeordnete Rolle. Daher die grossen Abweichungen in den Winkelgrößen, die sie bei aufrechter Kopfstellung im Dunkeln geben.

4. Täuschungen in der Wahrnehmung der verticalen und horizontalen Richtungen bei Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse.

Die Täuschungen in der Wahrnehmung bei Schiefstellungen des Kopfes, besonders bei seinen Neigungen zur rechten oder zur linken Schulter, haben schon mehrmals die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gelenkt.

Es soll an das bekannte Aubert'sche Phänomen, wie an die Versuche von Yves Delage, von denen schon oben die Rede war, erinnert werden. Jetzt, wo die Localisirung der Richtungsempfindungen in dem Bogengangapparate zur wissenschaftlichen Gewissheit geworden ist, bietet das Studium des Einflusses, den die Drehungen des Kopfes, also auch der beiden Ohrlabyrinthe, auf unsere Richtungswahrnehmungen ausüben, ein noch viel höheres Interesse dar.

Schon bei den Wiederholungen der Aubert'schen Versuche durch Nagel, Sachs und Meller (7) u. A. hat es sich herausgestellt, dass die Stärke der Kopfneigung zur rechten oder linken Schulter einen unzweifelhaften Einfluss auf das Erscheinen der Täuschung, sowie auf die Intensität der scheinbaren Schiefstellungen der im Dunkeln beleuchteten verticalen Linie auszuüben vermag. Eine genaue Messung der Winkeldrehung des Kopfes wäre also bei derartigen Versuchen sehr erwünscht. Sachs und Meller haben auch, mittelst einer besonderen Vorrichtung, eine solche versucht.

Im Beginne meiner Versuche, — vor ein paar Jahren, — suchte ich ebenfalls eine Vorrichtung herzustellen, die es gestatten würde, genau sämtliche Drehungen des Kopfes um seine drei Achsen messen zu können. Ich suchte dies zu erreichen durch eine leichte metallische Haube, die mit einer Spitze, genau in der Mitte, versehen war, und von der Schnüre, mit Gewichten versehen, über Rollen gingen. Die Vorrichtung erinnerte also an den bekannten Ruete'schen Ophthalmotrop, um die Rollungen der Augäpfel zu demonstrieren.

Auch abgesehen von den technischem Schwierigkeiten, welche eine zweckmässige Ausführung eines solchen Apparates darbot, verzichtete ich noch aus einem anderen Grunde auf dessen Verwendung.

Wie schon oben hervorgehoben (S. 148), ist es, für das Gelingen der Versuche über Täuschungen in den Richtungswahrnehmungen, ein absolutes Erforderniss, diese Versuche an möglichst unbefangenen Personen anzustellen, und dabei jeden Eingriff zu vermeiden, der

die freie, völlig ungezwungene Beweglichkeit des Kopfes irgendwie beeinträchtigen könnte. Dies stellte sich schon bei den ersten Versuchen heraus. Sodann ergab sich aus denselben auch die wichtige Erfahrung, dass, wenn die Stärke der Kopfdrehung auch einen gewissen Einfluss auf die Intensität der mich interessirenden Täuschungen auszuüben vermag, derselbe in der Wirklichkeit nur ein sehr ge-

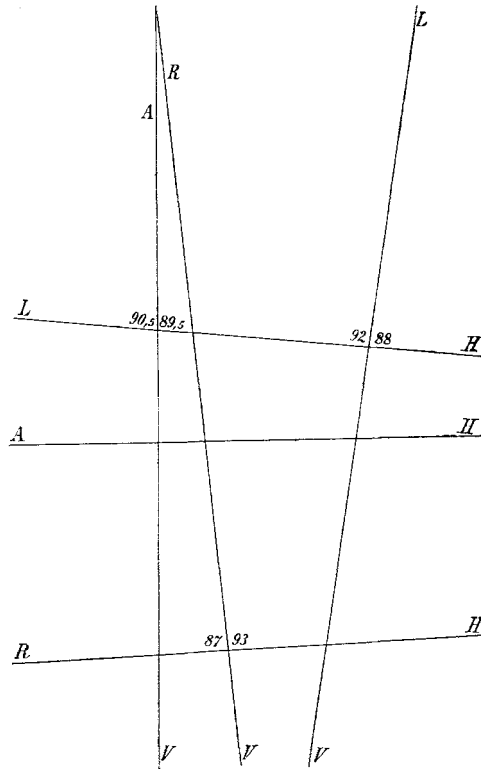


Fig. 1.

Versuchsperson C. *AV* und *AH* geben die beiden Richtungen bei aufrechter Kopfhaltung im Dunkeln. Die Abweichungen der Kreuzwinkel = $0,5^\circ$. *LV* und *LH* bei Neigung des Kopfes zur linken Schulter; *RV* und *RH* bei Neigung zur rechten Schulter. Die Abweichungen der Winkel von 90° sind 2° und 3° . (Die Zahlen 90,5—89,5 der Linie *LH* gehören auf *AH*.)

ringer ist. Noch wichtiger war die Feststellung, dass die Stärke der Kopfdrehung auf den Sinn der Täuschungen in keinerlei Weise einwirkte.

Es war daher vorzuziehen, vorläufig von jeder Messung der

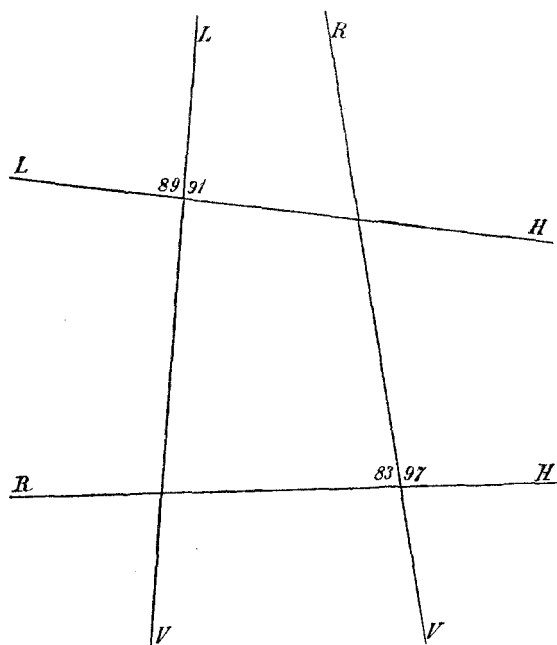


Fig. 2.

Dieselbe Versuchsperson. Gleichfalls im Dunkeln. Bedeutung der gleichbezeichneten Linien wie in Fig. 1. Winkelabweichungen gleich 1° und 3° . In dieser Figur führte ich die grösstmöglichen Kopfneigungen aus bei Beibehaltung der aufrechten Körperstellung.

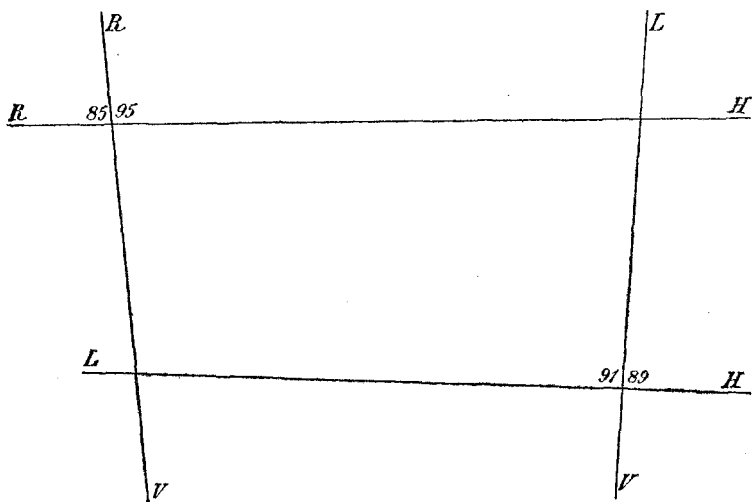


Fig. 3.

Derselbe Versuch wie in der Fig. 2; nur wurde der Körper gleichzeitig nach derselben Seite gebogen. Winkelabweichungen 1° und 5° .

Stärke der Kopfdrehungen abzusehen¹⁾. Die Versuchspersonen wurden in den meisten Fällen aufgefordert, die Drehung des Kopfes so ausgedehnt zu machen, wie sie es, ohne Unbehaglichkeit oder Schmerzgefühl zu empfinden, ausführen können.

Es sollen hier nur einige Figuren wiedergegeben werden, welche

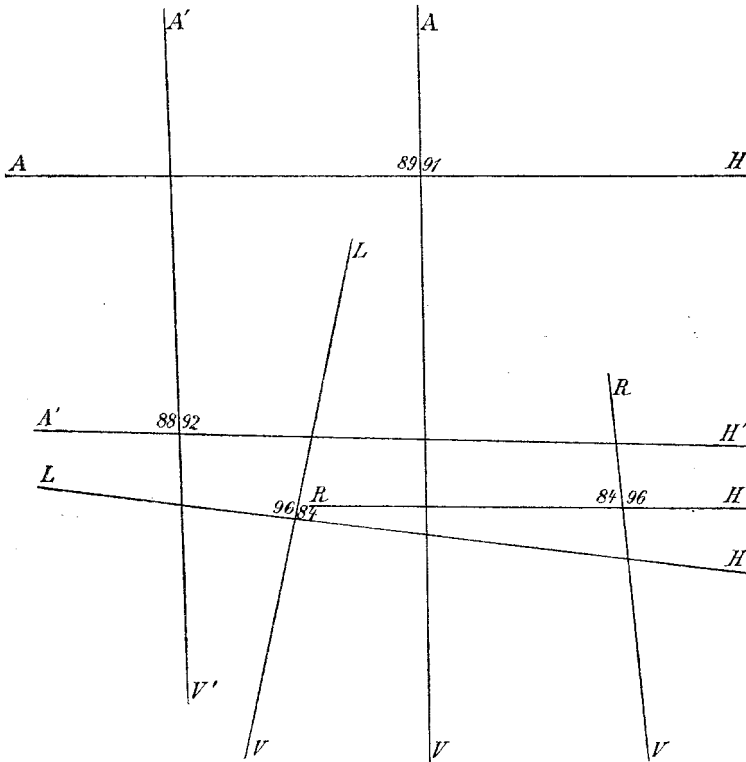


Fig. 4.

Versuchsperson F.; hat nie irgend welche Zeichnungen ausgeführt und kannte den Versuchszweck nicht. AV und AH sind bei offenen Augen und im hellen Zimmer gezeichnet worden. Winkeldifferenz gleich 1° bei aufrechter Kopfhaltung. $A'V'$ und $A'H'$ dieselben Richtungen, ebenfalls bei aufrechter Kopfhaltung, aber im Dunkeln. Winkeldifferenz gleich 2° . LV und LH im Dunkeln bei Neigung des Kopfes nach links. RV und RH nach rechts. In beiden Fällen war die Winkelabweichung gleich 6° .

1) Die seitdem veröffentlichte Abhandlung von Sachs und Meller (7) enthält die Beschreibung eines Messapparates für die Drehungen des Kopfes, der aber von dem angedeuteten Fehler nicht frei ist.

die Täuschungen in der Wahrnehmung der verticalen und horizontalen Richtungen darstellen.

Zum Vergleich ist eine Anzahl von Versuchen mit Kopfdrehungen bei offenen Augen im hellen Zimmer angestellt worden. Natürlich durften die Versuchspersonen das Blatt Papier, das Lineal und den Bleistift dabei nicht sehen. Ihr Blick war auf die Nachbargegenstände gerichtet.

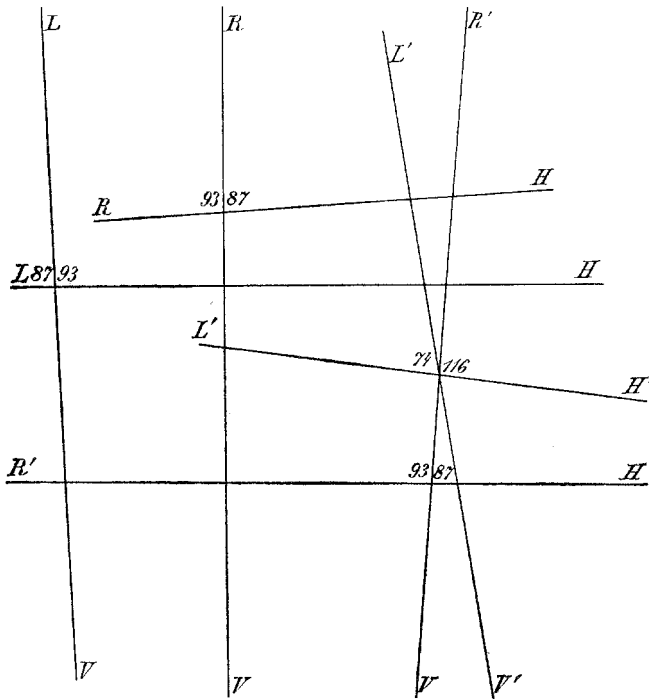


Fig. 5.

Versuchsperson G., ein zehnjähriger Knabe, der nie gezeichnet hat. *LV* und *LH* im Dunkeln bei linksseitiger Neigung des Kopfes. Winkelabweichung gleich 3°. *RV* und *RH* bei rechtsseitiger Neigung ergaben eine Abweichung von 3°. Die Linien *L'V'*—*L'H'* und *R'V'*—*R'H'* sind unter denselben Bedingungen einige Monate später von G. gezeichnet worden. Die Winkeldifferenzen sind bei Linksneigung gleich 16° (statt 116 — lies 106); bei Rechtsdrehung gleich 3°.

Die Figuren 1 und 3 rühren von Versuchen her, die ich an mir selbst angestellt habe.

Sieht man von der Fig. 5 ab (Versuchsperson G.), auf die besonders zurückgekommen wird, so sehen wir, dass bei den drei

Versuchspersonen C., F. und M. die Täuschung in den Richtungen immer denselben Charakter hatte.

Die verticale Richtung erscheint bei ihnen schief von oben rechts nach unten links und die horizontale von links oben nach rechts unten geneigt, wenn der Kopf zur linken Schulter gerichtet ist, und umgekehrt, bei der Kopfeigung nach rechts. Der Sinn der Täuschungen der

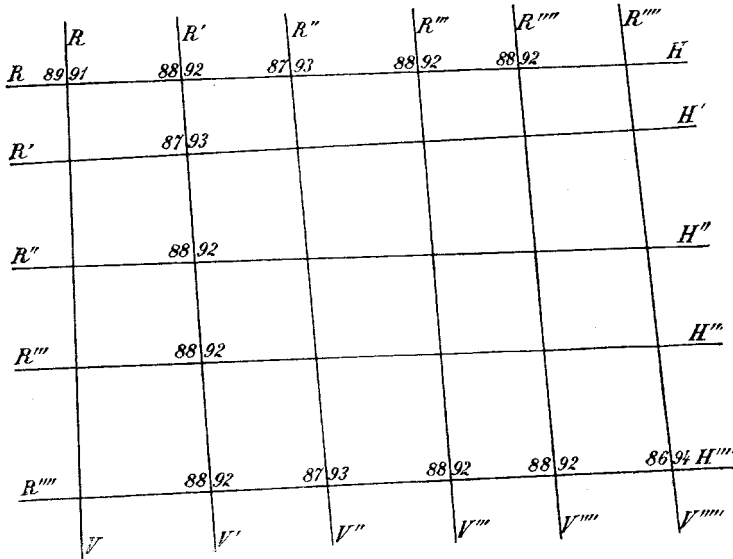


Fig. 6.

Versuchsperson M., zeichnet vortrefflich. Sämtliche Linien im Dunkeln und bei Neigung des Kopfes nach rechts gezeichnet. Zuerst wurden sämtliche Verticallinien und darauf die Horizontallinien ausgeführt. Das Lineal und der Bleistift wurden nach Ausführung jeder einzelnen Linie von dem Papier abgehoben, wobei M. im Dunkeln und mit geschlossenen Augen geblieben. Die Winkelabweichungen schwankten zwischen 2° und 4° .

beiden Richtungen ist also folgender: Die Verticale erscheint uns in einer Richtung geneigt, die entgegengesetzt zur Drehrichtung des Kopfes ist, also auch zur Richtung der verticalen Kopfachse. Das Gleiche gilt auch für die Täuschungen der horizontalen Richtungen, die ebenfalls der Wendung der transversalen Kopfachse entgegengesetzt erscheinen¹⁾.

1) Die Beziehungen der Richtungstäuschungen zu den Drehungen der Ebenen der verticalen und horizontalen Bogengänge werden im Capitel 13 erörtert.

Diese Täuschungen traten sowohl bei diesen drei als auch bei vier anderen, analogen Versuchen unterzogenen Personen, immer in demselben Sinne auf, so häufig auch die Versuche ausgeführt wurden.

Die Stärke der Abweichungen der bei Kopfneigungen gezeichneten Richtungen schwankt bei ein und derselben Person in ziemlich weiten Grenzen, jedenfalls in etwas weiteren als die Grössen der Abweichungen der Kreuzwinkel von 90° .

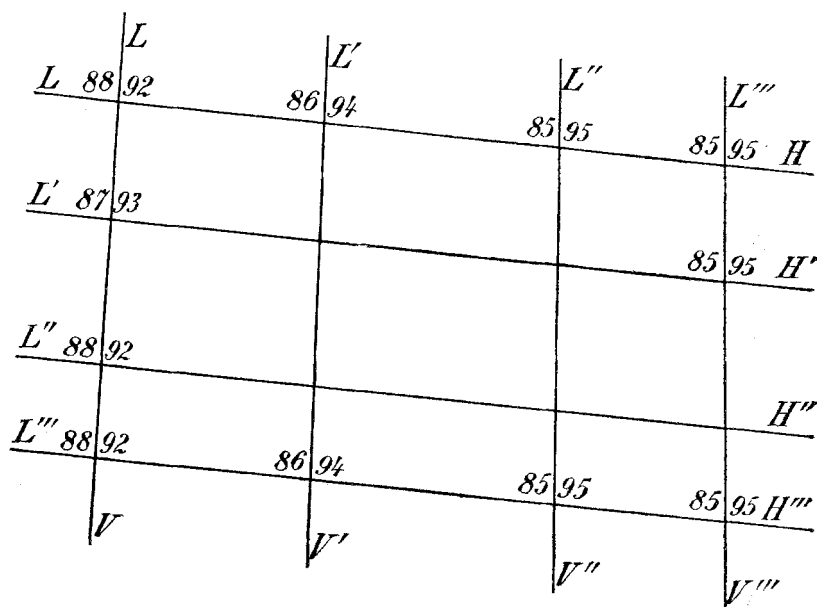


Fig. 7.

Versuchsperson M. Dieselben Versuchsbedingungen wie in der Fig. 6. Nur sind die Kopfneigungen zur linken Schulter gemacht worden. Die Differenzen der Winkel schwanken von 2° bis 5° vom rechten Winkel ab.

Bei unbefangenen Personen, die, eben weil sie sich keinerlei Rechenschaft von der Natur und dem Zwecke der Versuche geben, am interessantesten zu beobachten sind, blieben die letzteren Abweichungen fast ohne jede Veränderung, auch wenn die Versuche nach längerer Pause aufgenommen werden. Die Abweichungen der Linien von der normalen Richtung dagegen waren ziemlich verschieden. Die letztere Abweichung scheint in gewissen Grenzen von der Stärke der Kopfneigung abzuhängen. Die Winkelgrössen, d. h. die Beziehungen zwischen den verschiedenen Richtungen dagegen, die in erster Linie von den anatomischen Eigenthümlichkeit der Bogengang-

vorrichtungen abhängig sind, unterliegen viel geringeren Schwankungen. Auf dieser Eigenthümlichkeit beruht unter Anderem der Beweis, dass wir das Bestreben zur Einhaltung des rechten Winkels äussern (o. S. 150).

Wenn z. B. die verticale Richtung stark von der normalen abgewichen ist, so corrigiren wir, ohne von der Grösse dieser Abweichung Kenntniss zu haben, den begangenen Fehler, indem wir entsprechend auch die horizontale Linie von der normalen stärker abweichen lassen. Diese Correction geschieht also ganz unbewusst. Das Resultat ist: die Kreuzungswinkel werden nur wenig verändert.

So z. B. schwanken bei mir die Abweichungen der Winkel von 90° bei der Linksneigung zwischen $1,0^\circ$ und 4° , bei der Rechtsneigung von $1,5^\circ$ — 5° .

Der blosse Anblick der Figuren zeigt gleichzeitig, dass die Abweichungen der Richtungen viel bedeutender ausfallen können. So z. B. weicht die Verticale der Fig. 2 bei Linksdrehung viel mehr von der Normalen ab als in der Fig. 3. Die Winkel weichen aber in beiden Fällen von 90° nur um einen Grad ab, und zwar, weil in Fig. 2 eine grössere Abweichung der Horizontalen geschieht.

Ähnliches sieht man bei der Rechtsneigung des Kopfes, wenn man die Linien auf den Figuren 1 und 2 zusammengestellt.

Bei M. schwanken die Winkelgrössen in ihren Abweichungen vom geraden Winkel zwischen 2° bis 5° bei der Linksdrehung und zwischen 1° und 4° bei der Rechtsdrehung.

Die Figuren 6 und 7 sind in dieser Beziehung besonders belehrend, weil in beiden die Linien fast genau parallel laufen, trotzdem die Hände mit dem Lineal und dem Bleistift, nach Aufzeichnung je zwei zugehöriger Linien, immer von dem Papierblatt abgehoben wurden, M. also keine Kenntniss von der Gestaltung der einen Aufzeichnung hatte, als sie zur folgenden schritt.

In den zahlreichen Versuchen die M. mit einzelnen Richtungsbestimmungen anstellte, wichen die Abweichungen der Verticalen häufig viel mehr von der Normalen ab als in den Figuren 6 und 7. Die Schwankungen der Winkelgrössen blieben aber immer in den erwähnten Grenzen.

Wie die anderen geübten Zeichner machte auch M. grosse Anstrengungen, um die Täuschung zu bekämpfen. Bei Allen blieben

aber die Bemühungen, die Linien gerade oder sogar in entgegengesetzter Richtung zu zeichnen, vergeblich: der Sinn der Täuschung blieb immer derselbe; höchstens gelang es dabei, die Stärke derselben zu vermindern.

Das Gesetz, nach welchem die Täuschungen bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse sich äussern, ist also für dieselben Personen ein absolutes und lässt keine Ausnahme zu.

Dagegen zeigt die Fig. 5, dass es persönliche Ausnahmen gibt, wo das Gesetz der Täuschungen sich in gegentheiliger Weise äussert, wenigstens was die verticale Richtung betrifft. Die Täuschung der Schiefstellung der Verticalen bei G. geschah immer in demselben Sinne wie die Kopfdrehung: nach links bei der Neigung des Kopfes zur linken Schulter, nach rechts bei Rechtsneigung.

Wie die in den folgenden Abschnitten auseinandergesetzten Versuche an G. zeigen, äussert sich bei ihm das gleiche Verhältniss der Verticalen auch bei den Beobachtungen des Aubert'schen Phänomens, bei der Bestimmung der Herkunft eines Schalles und anderen Versuchsarten, bei denen er den Kopf um die sagittale Achse dreht.

Das gegentheilige Verhalten der Täuschungen beruht also sicherlich auch bei G. auf einer constanten Ursache, die unten im Abschnitt 13 discutirt wird¹⁾.

Was die Täuschung in der horizontalen Richtung anbelangt, so geschieht dieselbe in dem gleichen Sinne wie bei allen anderen Versuchspersonen: bei der Linksdrehung des Kopfes neigt diese Linie von links oben nach rechts unten und umgekehrt, von links unten nach rechts oben bei der Rechtsdrehung.

Man dürfte unter solchen Umständen erwarten, dass die Abweichungen der Winkelgrössen vom rechten Winkel bei G. besonders stark ausfallen müssen, da ja die angegebenen Richtungen der horizontalen Linien die Abweichung der verticalen nicht compensiren können, sondern dieselbe vergrössern müssen. In der Wirklichkeit ist dies aber nur ausnahmsweise der Fall. Mit der alleinigen Ausnahme der starken Erregungen seines Ohrlabyrinths durch Schallerregungen, von denen im Capitel 8 gehandelt wird, zeigte sich auch bei G. das Bestreben zur Einhaltung des rechten Winkels.

Man betrachte nur auf Fig. 5 die Linien $LV-LH$ und $RV-RH$; die Winkel weichen nur um 3^0 vom rechten Winkel ab. Das Gleiche

1) Siehe Seite 243 u. ff.

sieht man auch bei $R'V-R'H$, die einem Versuche entnommen wurden, der einige Monate später ausgeführt wurde; auch hier ist die Winkeldifferenz $= 3^\circ$.

Die annähernde Einhaltung des rechten Winkels wurde von G. erreicht dadurch, dass er die horizontale Richtung nur wenig von der normalen Richtung abweichen lässt.

Da, wo ihm das nicht gelingen wollte, wie z. B. bei den Linien $L'V-L'H'$, wo die letztere Linie ebenso sehr von links oben nach rechts unten abwich, wie bei den anderen Versuchspersonen, erreichte die Winkeldifferenz einen grösseren Werth, bis zu 14° . Dies sind aber Ausnahmefälle. Im Durchschnitt waren bei Kopfeigungen die Differenzen bei G. sogar geringer als bei mir und bei M.

Die Mitteldifferenz aus 21 Versuchen war bei mir, bei der Linksneigung, gleich 3° , bei der Rechtsneigung $= 4^\circ$; bei M. im ersteren Fall $= 4,5^\circ$, im zweiten $= 4^\circ$, als Mittelwerth aus 16 Versuchen. Bei G. betrug sie 2° sowohl bei der Links- als bei der Rechtsneigung; Mittelwerth aus 11 Versuchen.

Es war von Interesse, zu erfahren, welchen Einfluss die Kopfeigung auf die Wahrnehmung der Richtung ausübt, wenn die Zeichnungen, statt im Dunkeln und mit geschlossenen Augen, im hellen Raume ausgeführt werden; selbstverständlich in der Weise, dass die Versuchsperson dabei weder das Blatt Papier noch die Hände, welche das Lineal und den Bleistift führen, im Gesichtsfelde behält.

Bei der gewöhnlichen Ausführung der Versuche im Dunkeln ist schon die Blickrichtung bei der Neigung des Kopfes zu der einen oder der anderen Schulter eine derartige, dass das Papierblatt sich ausserhalb des Gesichtsfeldes befindet¹⁾.

Die Augenstellung bleibt also bei solchen Neigungen des Kopfes in hellem Raume ganz dieselbe, wie im dunkeln Raume.

Die Resultate derartiger Versuche zeigen nun, dass in diesen Fällen ebenfalls Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen vorkommen, und zwar in demselben Sinne wie im Dunkeln; nur ist deren Intensität eine geringere.

Die Täuschung wird also durch die abnorme Kopfstellung selbst erzeugt. Der Umstand, dass die Versuchspersonen bei der Ausführung der Zeichnungen sich über die Richtungen, besonders über die Verticale, durch das Ansehen der benachbarten Gegenstände einiger-

1) Siehe Capitel 7.

maassen orientiren können, verhindert diese Täuschung keineswegs; diese Nebenorientirung vermindert nur dieselbe.

Dabei zeigte es sich, in Uebereinstimmung mit den im vorigen Paragraphen mitgetheilten Beobachtungen, dass gute Zeichner aus dieser Nebenorientirung viel grösseren Nutzen ziehen, als ungeübte oder ungeschickte Zeichner. So war der Mittelwerth der Winkeldifferenzen bei mir im hellen Raume um ein Weniges geringer als im dunkeln: 2° bei der Linksneigung und 3° bei der Rechtsdrehung. Bei G. behielt die Differenz bei der Linksdrehung des Kopfes im Mittel denselben Werth von 2° , wie im Dunkeln. Bei der Rechtsdrehung glich sie 1° , statt 2° im Dunkeln.

Dagegen sank sie bei M. im hellen Raum auf 0° , statt $4,5^{\circ}$, bei der Linksdrehung, und auf 1° bei der Rechtsdrehung, statt 4° im Dunkeln. Die Orientirung an benachbarten Gegenständen vermag also bei guten Zeichnern die Täuschung, wenn nicht ganz zum Verschwinden zu bringen, so doch bedeutend abzuschwächen. Denn auch bei M. waren die Abweichungen von den normalen Richtungen bei Beleuchtung deutlich ausgesprochen, und zwar in demselben Sinne wie im Dunkeln; nur die Winkeldifferenzen waren viel geringer, weil die Orientirung mit Hülfe der sichtbaren Richtungen es gestattete, die Winkeldifferenz abzuschwächen.

Auf die Deutung dieser interessanten Beobachtung im hellen Raume soll unten im Capitel 13 zurückgekommen werden.

Die hier mit den präzisen Methoden beobachteten Täuschungen sind, was die verticale Richtung betrifft, ganz analog denen, die Aubert bei den Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse beobachtet hat.

Dem Sinne nach stimmen sie auch einigermaassen mit denen, die Yves Delage beobachtet hat, überein; aber auch nur dem Sinne nach, und was die verticale Richtung betrifft. Einen constanten Fehler um 15° , den alle Versuchspersonen begehen sollen, habe ich nie constatiren können.

5. Täuschungen bei Drehungen des Kopfes um seine verticale und horizontale Achse.

Es sollen hier zuerst einige Figuren angeführt werden, welche die häufigsten Täuschungen bei Drehungen des Kopfes um die verticale Achse demonstrieren.

Wie man sieht, weichen die verticalen Linien nur wenig von der normalen Richtung ab; jedenfalls nicht mehr als in der Dunkelheit bei aufrechter Kopfhaltung. Bei beiden Drehungen geschieht die Abweichung im gleichen Sinne, und zwar stimmt dieser Sinn des Fehlers ganz mit dem überein, den ich gewöhnlich beim Zeichnen im Dunkeln begehe, auch bei aufrechter Kopfhaltung.

Wie eben S. 154 gezeigt, pflege ich dieselbe Abweichung von der Verticalen, wenn auch in viel geringerem Grade, auch beim Zeichnen im hellen Raume zu machen.

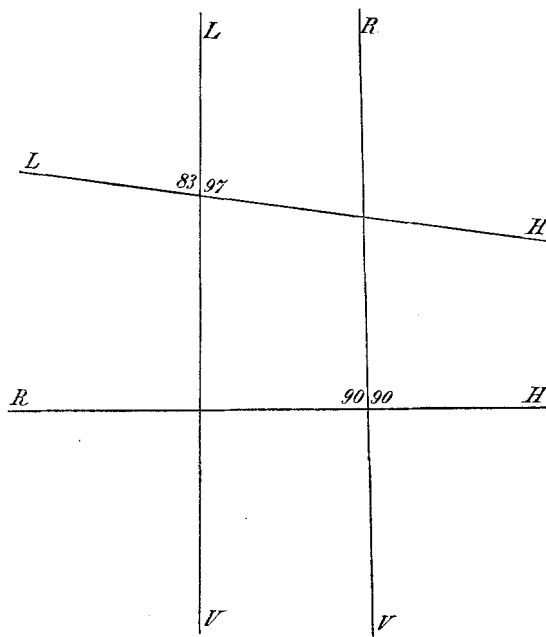


Fig. 8.

Versuchsperson C. Drehung des Kopfes um die verticale Achse bei unbeweglichem Körper. Winkeldifferenz gleich 0 bei der Rechtsdrehung und gleich 3° bei der Linksdrehung.

Die horizontalen Linien zeigen, besonders bei der Linksdrehung, schon eine grössere Abweichung; aber auch dies geschieht bei der Linksdrehung in demselben Sinne, wie bei aufrechter Kopfhaltung.

Die Fig. 9 zeigt die Abweichungen, die bei mir auftreten, wenn gleichzeitig mit dem Kopfe auch der Körper um die verticale Achse gedreht wird; d. h. also bei einer Körperstellung, bei welcher bei der Linksdrehung die rechte, bei der Rechtsdrehung die linke

Seite des Körpers sich gegenüber dem Papierblatte befindet, auf welchem die Zeichnung ausgeführt wird.

Wie ersichtlich, fanden dabei die Abweichungen der beiden Richtungen ganz in demselben Sinne wie bei alleiniger Kopfdrehung statt. Dieselbe ist ebenso gering für die verticalen Richtungen wie in Fig. 8; dagegen sind sie viel ausgesprochenener in den horizontalen Linien. Die grössere Winkeldifferenz beruht ausschliesslich auf der Zunahme dieser letzteren Abweichung.

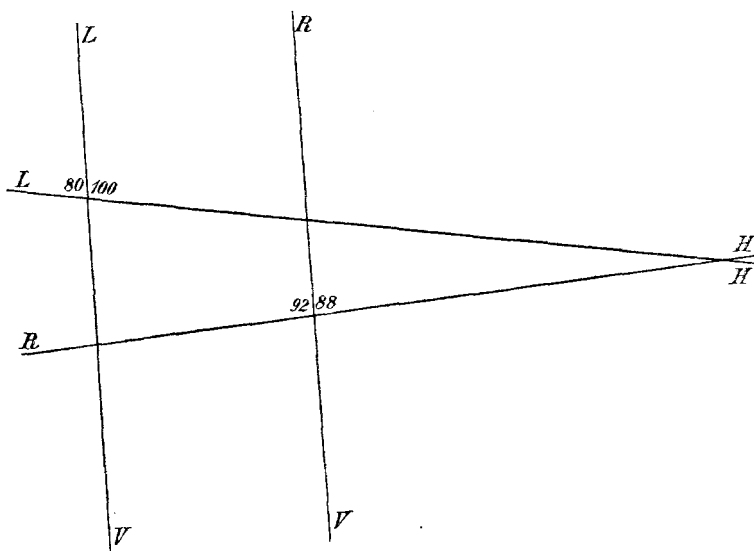


Fig. 9.

Versuchsperson C. Drehung des Kopfes sammt Körper um die verticale Achse. Bei der Rechtsdrehung erreicht die Winkeldifferenz 10° , bei der Linksdrehung 2° .

Bei der Versuchsperson M. waren die Winkeldifferenzen bei der Rechtsdrehung meistens gleich Null; bei der Linksdrehung erreichten sie 3° bis 6° , wenn der Kopf allein die Bewegung ausführte. Die verticalen Linien wichen bei beiden Drehungen nur sehr wenig von der normalen ab; die horizontalen zeigten eine grössere Abweichung, besonders bei der Linksdrehung. Die Winkeldifferenz beruhte in letzterem Falle fast ausschliesslich auf der Abweichung der horizontalen Richtung.

Die Verticalen sowohl als die Horizontalen bei der Linksdrehung entsprechen ganz den Abweichungen,

wie sie bei M. im Dunkeln bei aufrechter Kopfhaltung aufzutreten pflegen (siehe S. 154).

Die Fig. 10 zeigt die Täuschungen bei G.

Wie ersichtlich, beruht auch bei G. die Winkeldifferenz hauptsächlich auf der Abweichung der horizontalen Linien. Die Verticale bei der Linksdrehung ist fast genau richtig; diejenige bei der Rechtsdrehung neigt ein wenig von rechts oben nach links unten. Auch diese Abweichung entspricht derjenigen, die G. beim Zeichnen im Dunkeln, bei aufrechter Kopfhaltung, zu begehen pflegt.

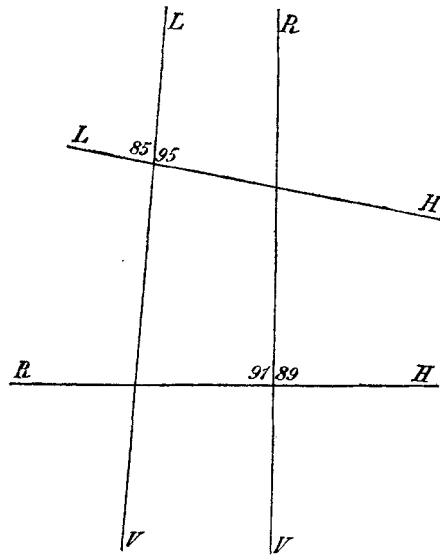


Fig. 10.

Versuchsperson G. Drehungen des Kopfes um die verticale Achse. Abweichungen der Winkel von $90^\circ = 1^\circ$ bei der Rechtsdrehung, $= 5^\circ$ bei der Linksdrehung.

Bei Drehungen um die verticale Achse stimmt das Auftreten der Täuschungen bei G. also mit denen überein, die wir bei C. und M. beobachteten.

Betrachtet man genauer die bei Drehungen des Kopfes um seine verticale Achse erhaltenen Aufzeichnungen der verticalen und horizontalen Richtungen, so muss man in erster Linie die Frage aufwerfen, ob die geringen Abweichungen in der Wiedergabe dieser Richtungen als wirkliche Täuschungen in deren Wahrnehmung aufzufassen seien.

Die verticalen Linien weichen von der Norm nicht mehr ab, als bei deren Aufzeichnung im dunkeln Raume bei aufrechter Haltung des Kopfes.

Diese Abweichungen geschehen in demselben Sinne wie bei letzterer Kopfstellung, dies sowohl bei Drehung nach rechts als bei der nach links. Was diese Linien betrifft, so müssen die Abweichungen der Verticalen als Ausdruck der persönlichen Fehler betrachtet werden. Zu Gunsten einer solchen Auslegung sprechen folgende zwei Umstände: 1. G. verhält sich bei der Wiedergabe der verticalen Richtung, bei den Drehungen des Kopfes um seine verticale Achse, ganz in derselben Weise wie die übrigen Versuchspersonen. 2. M., die vortrefflich zeichnet, zeigt bei Drehungen um die verticale Achse dieselben Abweichungen, wie bei der aufrechten Kopfhaltung.

Die Abweichungen der horizontalen Linien könnten eher auf Täuschungen zurückgeführt werden. Wie die Figuren 8, 9 und 10 zeigen, geschehen diese Abweichungen bei der Linksdrehung genau, wie bei aufrechter Kopfhaltung; nur sind sie etwas stärker ausgesprochen. Diese Steigerung des persönlichen Fehlers könnte auch theilweise auf Rechnung der, bei der Linksdrehung etwas erschwerten Führung des Lineals mit der linken Hand, gesetzt werden. Die letztere muss bei links gewendeten Oberkörper nach rechts geführt werden; die Anlegung des Lineals wird dadurch etwas mangelhaft.

Man überzeugt sich leicht von diesem Einfluss, wenn man die Abweichungen der horizontalen Linien in den Figuren 8 und 9 vergleicht. Die letztere ist erhalten worden bei voller Umdrehung des Körpers und des Kopfes. Die Führung des Lineals war dabei natürlich schwieriger geworden: die Abweichung der horizontalen Linie wurde daher bei solcher Linksdrehung viel stärker ausgedrückt.

Dagegen ist es nicht so leicht, die Abweichung der horizontalen Linie bei der Rechtsdrehung auf eine blosse Verstärkung des persönlichen Fehlers zurückzuführen. Denn diese Abweichung geschieht nicht in demselben Sinne, wie bei aufrechter Kopfhaltung. Sie entspricht im Gegentheil ganz der Abweichung, die man bei der Neigung des Kopfes zur rechten Schulter erhält.

Freilich beobachtet man bei den meisten Personen, dass die Drehung des Kopfes um die verticale Achse nach rechts mit einer kleinen Schiefstellung verbunden sei. Der Sinn der Abweichung der

horizontalen Linie könnte also vielleicht auf diesen Umstand zurückgeführt werden.

Unzweifelhaft ist es jedenfalls, dass die Drehung des Kopfes um seine verticale Achse keinerlei Täuschung in der verticalen Richtung erzeugt. Die Ebenen der verticalen Bogengänge werden auch bei dieser Drehung nicht im Geringsten verstellt.

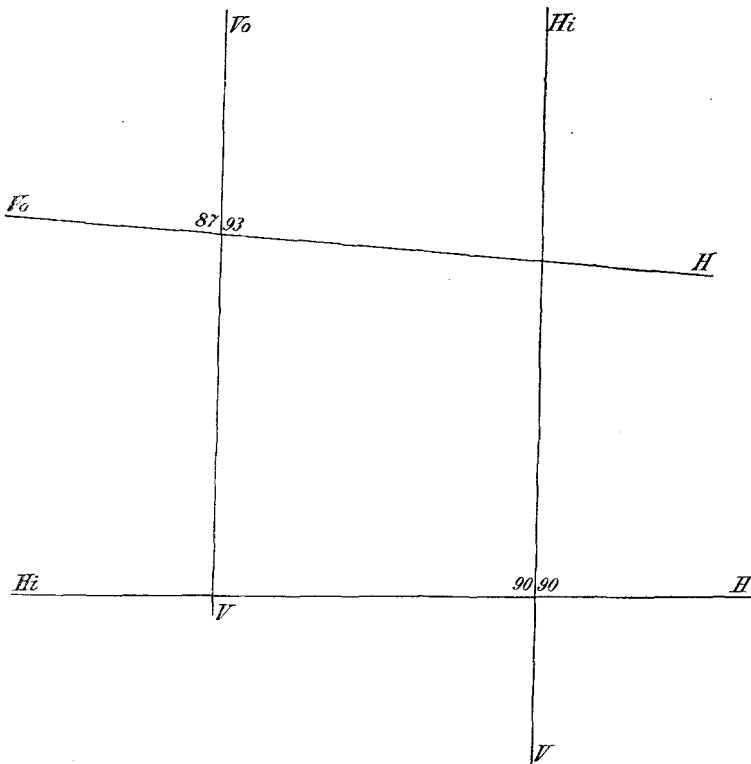


Fig. 11.

Versuchsperson C. Drehung des Kopfes um die transversale Achse. Differenz der Kreuzwinkel bei Drehung nach vorne gleich 3° , nach hinten gleich 0° .

Die Täuschung in der horizontalen Richtung, wenn eine solche überhaupt vorhanden, ist jedenfalls sehr gering; der grössere Theil ihrer Abweichungen muss auf Rechnung der persönlichen Fehler und die Unbequemlichkeit bei der Führung des Lineals bei diesen Drehungen gestellt werden.

Die Figuren 11, 12 und 13 demonstrieren die Fehler bei der Angabe der verticalen und horizontalen Richtungen im Dunkeln, wenn

der Kopf um seine transversale Achse, also nach vorn und hinten, gedreht wird.

Wie ersichtlich, sind die Winkeldifferenzen, wenn vorhanden, ziemlich gering und überschreiten nicht die Fehler, die bei aufrechter Kopfhaltung im Dunkeln begangen werden. Bei C. zeigen die Verticalen bei beiden entgegengesetzten Bewegungen eine kaum

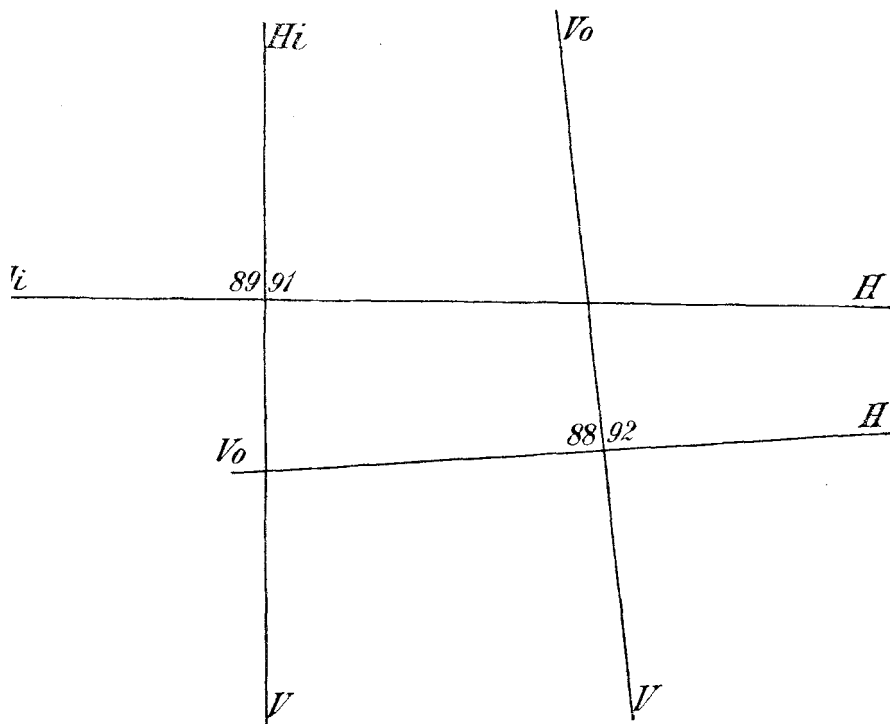


Fig. 12.

Versuchsperson M. Ebenfalls Drehung um die transversale Achse. Winkeldifferenzen nach vorne gleich 2° ; nach hinten gleich 1° .

merkliche Abweichung nach derselben Seite. Auch die horizontalen Linien weichen in beiden Fällen in demselben Sinne ab, bei der Kopfdrehung nach vorn etwas mehr; die geringe Winkeldifferenz bei der letzteren hängt von diesem Unterschiede ab.

Auch bei M. zeigten die horizontalen Linien Abweichungen in demselben Sinne; sie waren etwas ausgiebiger bei der Drehung nach hinten. Die Verticalen gehen etwas auseinander. Bei G. gehen sowohl die Horizontalen in entgegengesetzter Richtung als die Verticalen in derselben.

Im Allgemeinen kann man auch bei den Drehungen des Kopfes um seine transversale Achse kaum von wirklichen Täuschungen sprechen, wenigstens was die verticalen Richtungen betrifft.

Es handelt sich höchstwahrscheinlich bei diesen Kopfdrehungen, wie bei denen um die verticale Achse, nur um persönliche Fehler, zu denen die Versuchsfehler — bei der Ausführung der Zeichnungen — hinzukommen.

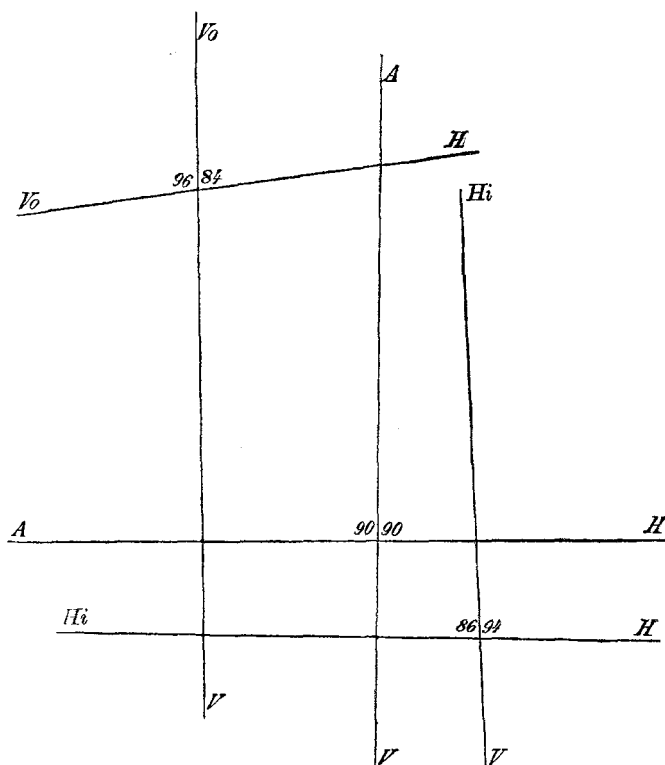


Fig. 13.

Versuchsperson G. Bei aufrechter Kopfhaltung und bei Beleuchtung. Winkeldifferenz gleich 0° , bei Drehung des Kopfes im Dunkeln um die transversale Achse nach vorne Winkeldifferenz gleich 6° , nach hinten 4° .

Sowohl bei geübten als bei ungeübten Zeichnern gibt es keinen merklichen Unterschied in diesen Fehlern bei Drehungen des Kopfes um seine horizontale Achse zwischen den Aufzeichnungen im Dunkeln oder bei Beleuchtung.

Der Grund leuchtet von selbst ein.

6. Täuschungen in den sagittalen und transversalen Richtungen.

Wie oben (S. 151) erwähnt, musste ich wegen der Schwierigkeiten der Ausführung darauf verzichten, gleichzeitig die Täuschungen in den drei Richtungen des Raumes aufzuzeichnen. Die Täuschungen in der sagittalen Richtung mussten also gesondert studirt werden.

Bei der grossen Bedeutung, welche die simultane Beobachtung der Veränderungen in den Kreuzungswinkeln für das Verständniss der hier in Betracht kommenden Täuschungen darbietet, suchte ich gleichzeitig mit der Aufzeichnung der sagittalen auch die der horizontalen Richtung ausführen zu lassen.

Die Verhältnisse gestalten sich aber bei der gewählten Versuchsweise mit der Aufzeichnung der Richtungen auf einem horizontal befestigten Papierblatt (siehe oben S. 151) in der Weise, dass Täuschungen in der horizontalen Ebene gar nicht vorkommen konnten.

In der That, beim Aufzeichnen der horizontalen Linie in den bisher wiedergegebenen Figuren suchten die Versuchspersonen dieselbe möglichst genau waagerecht zu halten. Die begangenen Abweichungen geschahen nach oben und unten; deren Deutung bot keine Schwierigkeiten.

Anders ist es beim Aufzeichnen derselben Linie auf horizontaler Ebene; hier geschehen deren Abweichungen resp. die Fehler in der Richtung nach vorne und nach hinten; es handelt sich also eigentlich um Abweichungen in der sagittalen Richtung einer transversal gezogenen Linie.

Die Bewegungen in transversaler Richtung, d. h. nach rechts und nach links, geschehen um dieselbe verticale Achse wie die Drehungen in horizontaler Ebene.

Wie ich mehrfach in meinen Arbeiten über den Raumsinn auseinandergesetzt habe, ist die letzte Drehung eigentlich nur eine Fortsetzung der Drehung nach rechts oder nach links (10, Cap. 6).

Beider Art Bewegungen werden von dem horizontalen Bogengangpaare beherrscht. Täuschungen, welche in der transversalen Richtung sich äussern, müssen also ebenfalls von denselben Bogengängen ausgehen, wie die der horizontalen Richtung.

Wenn solche Täuschungen sich in Abweichungen der Kreuzwinkel vom rechten Winkel äussern; so haben diese Abweichungen dieselbe Bedeutung wie in den oben mitgetheilten Versuchen. Der Unterschied besteht nur darin, dass bei der Aufzeichnung der verti-

ealen und horizontalen Richtung, in der von uns gewählten Weise, es sich um den Kreuzwinkel des horizontalen Bogengangs mit dem verticalen (hinteren) handelt; bei der Aufzeichnung der sagittalen und transversalen Richtungen handelt es sich dagegen um den Kreuzwinkel der horizontalen mit den sagittalen Bogengängen.

Mit anderen Worten: gemäss den Betrachtungen, die oben auf Seite 149 aufgestellt wurden, können die in sitzender Körperhaltung im Dunkeln in der angegebenen Weise ausgeführten Zeichnungen uns Aufschluss über die anatomischen Beziehungen dieser letzteren Bogengänge ertheilen. In den hier mitgetheilten Versuchen bezieht sich also das Bestreben zur Einhaltung des rechten Winkels auf den Winkel zwischen den horizontalen und sagittalen (vorderen verticalen) Bogengängen.

Diese Schlussfolgerungen sind aber nur zwingend, wenn die sagittalen Linien, welche in den betreffenden Versuchen gezeichnet werden, wirklich der Ausdruck unserer Wahrnehmung der sagittalen Richtung sind. In der Wirklichkeit haben die Zeichnungen, welche in sitzender Körperhaltung auf einem horizontal befestigten Papierblatte ausgeführt wurden, dasselbe Aussehen wie die auf dem vertikalen. Wenn wir gewöhnlich eine senkrechte Linie zeichnen, machen wir eigentlich dasselbe wie die Versuchspersonen bei der Angabe ihrer sagittalen Richtung. Die Gefahr einer Verwechslung war also, besonders bei geübten Zeichnern, sicherlich vorhanden.

Um eine solche zu vermeiden, liess ich dieselben vor dem Anlegen des Lineals dasselbe in der Richtung nach vorne (von sich) und darauf nach hinten (zu sich) zu führen.

Diese Vorsichtsmaassregel hat sich auch gut bewährt, was daraus ersichtlich ist, dass die Täuschungen resp. die Zeichenfehler in den verschiedenen Versuchen bei der Ausführung der sagittalen Linien meistens mit denen der vertikalen Linien nicht übereinstimmen. Dagegen aber decken sich die Täuschungen in den transversalen Richtungen vollständig mit den unter denselben Bedingungen entstehenden Abweichungen der horizontalen Richtungen, wenigstens ihrem Sinne nach.

Strecken wir im Dunkeln einen längeren Stab in der Richtung nach vorne, legen ihn dann vorsichtig, ohne unseren Platz zu wechseln, auf den Tisch hin und kreuzen ihn mit einem in transversaler

Richtung gehaltenen Stabe, so erhalten wir Abweichungen der sagittalen und transversalen Richtungen, die ihrem Sinne nach genau den aufgezeichneten entsprechen.

Auch ein Beweis, dass die letzteren in den weitaus häufigsten Fällen die gewünschten Richtungen wiedergeben.

Die Figur 14 zeigt nun eine von uns auf einem Papierblatt, das genau horizontal befestigt wurde, im Dunkeln ausgeführte Zeichnung.

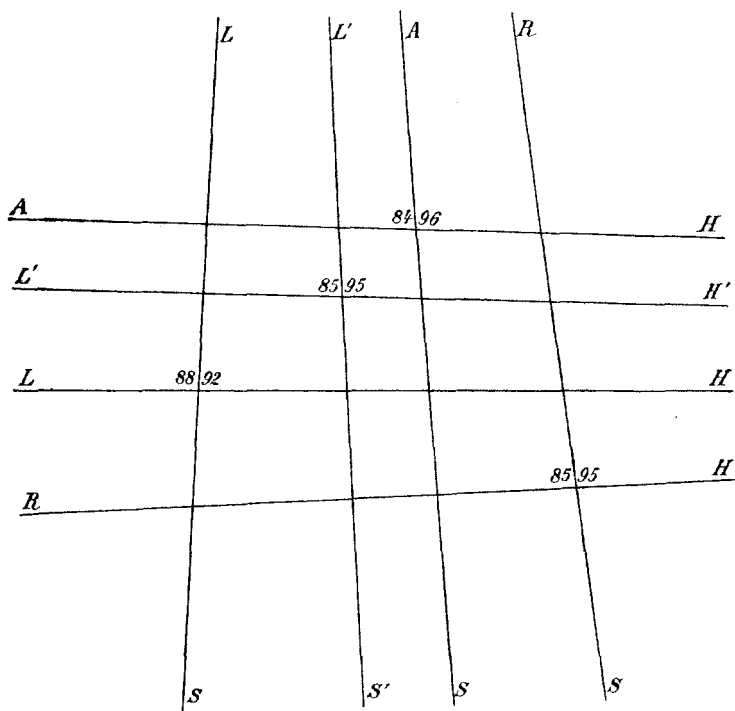


Fig. 14.

Versuchsperson C. AS und AH sind die sagittale und transversale Richtung bei aufrechter Kopfhaltung im Dunkeln. RS und RH dieselben Richtungen bei Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse nach rechts; $L'S'$, sowie $L'H'$ bei Drehung nach links.

Ich habe dieser Figur den Vorzug vor vielen anderen gegeben, weil sie sowohl die Abweichung der sagittalen Richtung bei der aufrechten Kopfhaltung (AS) als auch die beiden vorkommenden Fälle bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse demonstriert. $LS-LH$ und $RS-RH$ zeigen die ausnahmsweise vorkommenden Abweichungen der sagittalen Richtungen, welche ganz denen ent-

sprechen, die wir bei derartigen Kopfdrehungen an der vertikalen Richtung wahrgenommen haben. $L'S'$ und $L'H'$ dagegen zeigen den viel häufiger vorkommenden Fall, wo die sagittale Linie bei der Linksneigung in demselben Sinne abweicht als bei der Rechtsneigung und bei der aufrechten Kopfhaltung. Dies ist der viel häufigere Fall: bei beiden Kopfwendungen weichen die sagittalen Richtungen von links oben nach rechts unten ab; entweder sind sie dabei genau parallel, oder, was seltener ist, die eine Richtung weicht etwas stärker in den angegebenen Sinne ab, wie dies die Fig. 15 und 16 zeigen.

Dieses verschiedenartige Verhalten in der Wahrnehmung der sagittalen Richtung bei den Neigungen des Kopfes gegen die Schulter scheint durch folgenden Umstand bedingt zu sein: In der sitzenden Haltung ist es nicht leicht, die Kopfneigungen ausgiebig auszuführen, wenn man dabei die Körperhaltung genau senkrecht erhalten will. Das Aufrechterhalten des Körpers ist aber schon deswegen erforderlich, weil sonst die Ausführung der Zeichnung sehr erschwert wird. Die Drehung des Kopfes übersteigt dabei selten einen Winkel von 40° — 45° . In solchen Fällen tritt gewöhnlich eine identische Abweichung bei den Drehungen nach beiden Seiten hin ein ($L'S'$ Fig. 14, $LS-RS$ Fig. 15 u. 16).

Erzeugt man eine viel stärkere Drehung, z. B. bis nahe an 90° , was bei älteren Personen nur bei gleichzeitiger Seitenkrümmung des Oberkörpers zu erreichen ist, so erhält man die Täuschungen, wie sie die Linien $L'S'$ (Fig. 14) oder die Linien $LS-RS$ in Fig. 17 demonstrieren, d. h. Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtung in einem Sinne entgegengesetzt dem der Kopfneigungen.

Mit anderen Worten: 1. Bei stärkeren Kopfdrehungen um die sagittale Achse, etwa um einen Winkel von 90° , scheint die Täuschung in der sagittalen Richtung in demselben Sinne sich zu äussern, wie wir dies bei den Täuschungen in der Wahrnehmung der verticalen bei Drehungen des Kopfes um dieselbe Achse immer beobachten, wie gross auch der Drehungswinkel sein mag. 2. Uebertrifft dagegen der Drehungswinkel nicht 40° oder 45° , so zeigt die Wahrnehmung der sagittalen Richtung nur eine geringe Steigerung des auch bei aufrechter Kopfhaltung im Dunkeln begangenen Fehlers.

Ich gebrauchte im Satze 1 den Ausdruck „scheint“, weil bei sehr ausgiebigen Neigungen des Kopfes und des Rumpfes die

Möglichkeit nicht ganz ausgeschlossen bleibt, dass die Versuchsperson, unwillkürlich, doch die verticale Richtung aufzeichnet. Dies kann besonders leicht auftreten, wenn diese Personen, wie es der Fall war, an Aufzeichnungen der verticalen Richtungen durch häufig wiederholte Versuche gewöhnt sind. Nur Versuche mit genauer Messung der Drehungswinkel des Kopfes werden diese eventuellen Fehlerquellen vermeiden können.

Die Täuschungen der sagittalen Richtungen verhalten sich bei G. ganz in derselben Weise wie bei C., bei M. und bei zwei der

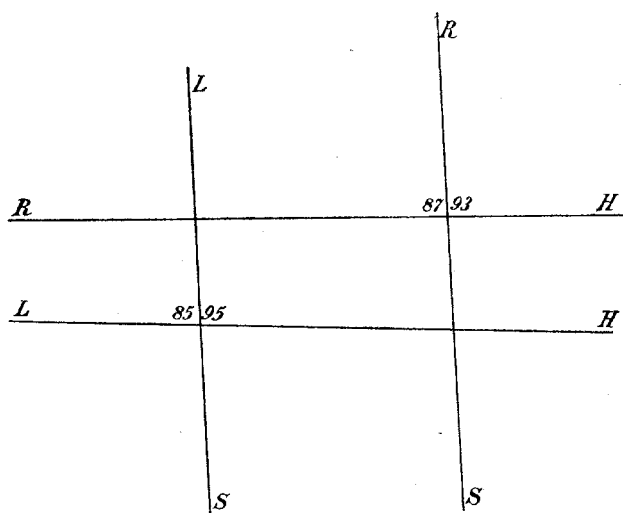


Fig. 15.

Versuchsperson M. Dieselben Bezeichnungen wie in Fig. 14. Winkeldifferenzen gleich 3° und 5° .

anderen Versuchspersonen; auch ein Beweis dafür, dass es sich in diesen Figuren meistens nicht um die Aufzeichnung der verticalen Richtung handelte (Fig. 15 u. 16).

Es soll noch gezeigt werden, dass auch bei G. Ausnahmen vorkamen, wo er die Sagittale mit der Verticalen verwechselt hat.

Die sagittalen Linien zeigen bei den Drehungen des Kopfes um die verticale Achse bei C. und M. ebenso geringe Abweichungen wie die verticalen Linien in den Figuren 11—13. Die transversalen Richtungen verhalten sich wie die horizontalen in denselben Figuren, wenigstens was den Sinn der begangenen Fehler anbetrifft (Fig. 17 u. 18).

Dies bekräftigt die oben auf S. 170 im Abschnitt 5 gegebene Deutung dieser Fehler, die kaum als Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen aufzufassen sind, besonders was die verticalen und sagittalen Linien betrifft.

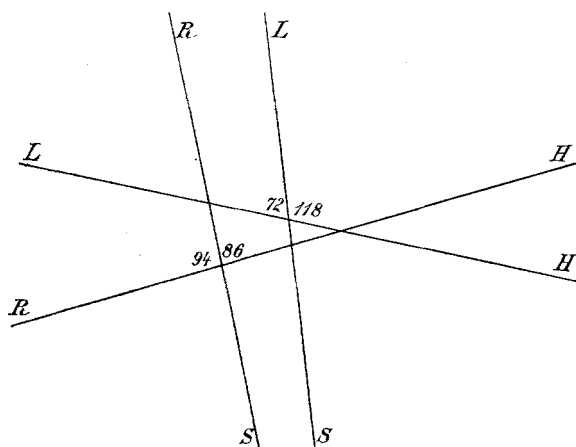


Fig. 16.

Versuchsperson G. Dieselben Bezeichnungen wie in den beiden vorigen Figuren; Winkeldifferenzen 4° und 9° . (Druckfehler: 118 statt 108.)

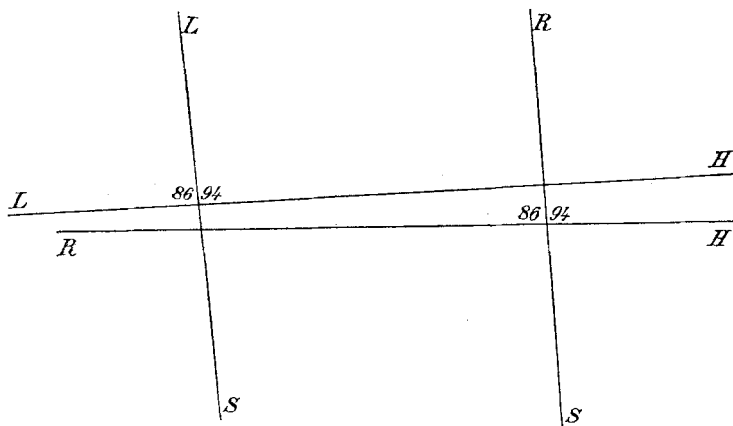


Fig. 17.

Versuchsperson C. Die sagittalen und transversalen Richtungen bei Drehungen des Kopfes um seine verticale Achse. Winkelabweichung gleich 4° .

Wie aus Fig. 19 ersichtlich, zeigen die Aufzeichnungen bei G., bei diesen Drehungen, ganz ungewöhnliche Neigungen, sowohl der Linien LS und RS , als auch der beiden transversal-horizontalen Linien; diesen

letzteren entspringen auch die grossen Abweichungen der Winkel um 29° und 38° .

Was den Sinn der ungewohnten Neigung der Linien LS und RS anbetrifft, der ganz an die bei ihm beobachteten Täuschungen in der verticalen Richtung erinnert, so muss hier die Frage offen bleiben, ob es sich um die sagittalen Richtungen handelt.

Die Grösse der Winkeldifferenzen beruht sowohl in dieser Figur als in der später folgenden Figur 21 auf einem besonderen Umstand,

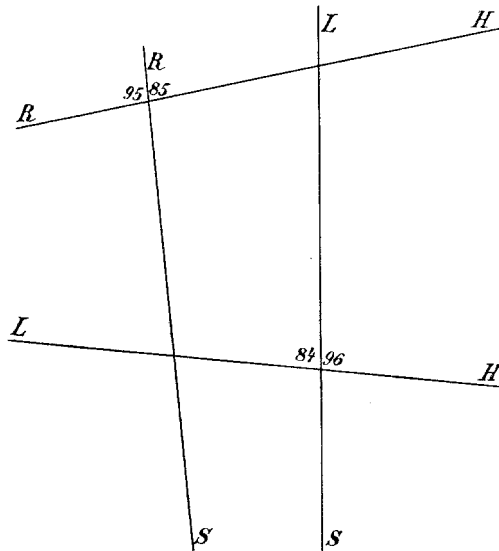


Fig. 18.

Versuchsperson M. Dieselben Versuchsbedingungen wie in der Fig. 17. Winkelabweichungen gleich 5° und 6° .

der im Capitel 8 besonders behandelt wird, nämlich auf der Uebertreibung der Täuschungen, die ich zuerst bei G. und später auch bei anderen Personen constatirt habe, und welche durch eine dem Versuche vorhergegangene grosse Erregung des Ohrlabyrinths mittelst Schallwellen erzeugt wird.

Mit dem Unterschiede, dass die sagittalen Linien, wie fast immer, eine parallele schiefe Haltung behalten, gilt für die Fig. 20 das, was oben bei ähnlicher Drehung des Kopfes um seine transversale Achse gesagt worden ist (S. 172, Abschnitt 5). Die transversalen Linien zeigen die gleichen Neigungen dem Sinne nach, wie in der Figur 11.

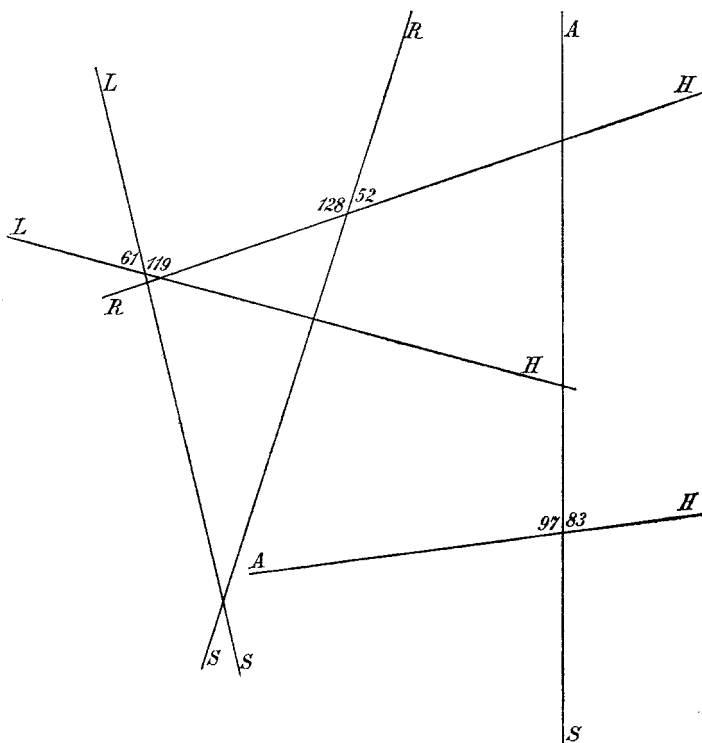


Fig. 19.

Versuchsperson G. *AS* und *AH* die sagittalen und transversalen Richtungen im Dunkeln bei aufrechter Kopfhaltung; Winkelabweichung gleich 3° . *LS—LH* und *RS—RH* dieselben Richtungen bei Drehungen des Kopfes um seine verticale Achse. Winkelabweichung gleich 29° und 38° .

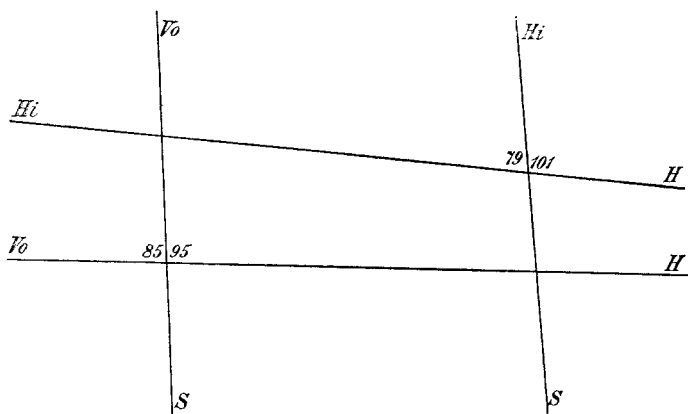


Fig. 20.

Versuchsperson G. *VoS* und *VoH* entsprechen der Drehung des Kopfes nach vorn, *HiS* und *HiH* der nach hinten; Winkelabweichungen gleich 5° und 11° .

Für die Deutung der Eigenthümlichkeiten dieser Figur gelten die oben bei Besprechung der Fig. 19 gemachten Bemerkungen.

7. Einfluss der Augenstellungen auf die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen.

In den vorhergehenden Abschnitten sind die wichtigsten Täuschungen, denen wir bei Wahrnehmung der Richtungen im Dunkeln unterliegen, auseinandergesetzt worden. Es sollen schon

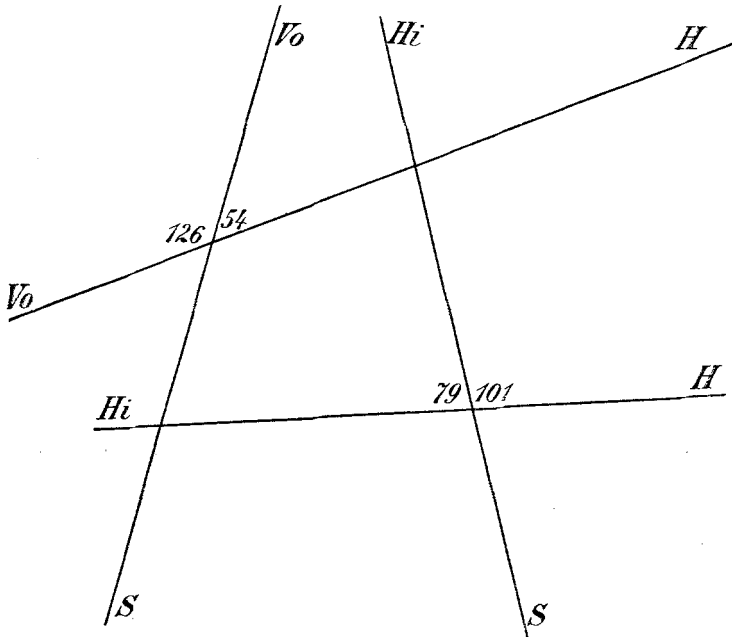


Fig. 21.

Versuchsperson G. Die Linien sind ebenfalls bei Drehung des Kopfes um seine transversale Achse gewonnen worden.

hier aus den mitgetheilten Versuchen einige allgemeine Sätze abgeleitet werden.

1. Die Täuschungen, die vom Ohr labyrinth herrühren, äussern sich ihrem Sinne nach mit grosser Gesetzmässigkeit, sie variiren aber in ihrer Intensität.

2. Von den Täuschungen sind streng zu unterscheidende Fehler in der Wahrnehmung der Richtungen, die theils auf persönlichen Fehlern anatomischer Natur, theils auf zufälligen Fehlern bei der Ausführung der Zeichnungen, welche unsere Wahrnehmungen

der Richtungen unter gegebenen Versuchsbedingungen darstellen, beruhen. Die häufig nur geringen Schwankungen in der Intensität der wirklichen Täuschungen können durch solche Fehler erzeugt sein, wenigstens zum Theil.

Es fragte sich nun, ob nicht noch andere, constante Ursachen vorhanden seien, welche an diesen Intensitätsschwankungen schuld sein können. Unter den angeführten Figuren befanden sich einige von G. herrührende, in denen diese Schwankungen ganz ausserordentliche Dimensionen angenommen haben, die sich besonders in einer bedeutenden Abweichung der Kreuzungswinkel von 90° äusserten. Diese besonders scharf bei G. sich zeigenden Schwankungen sind, wenn auch in mildere Form, bei M. vorgekommen.

Im Capitel 8 werden die Ursachen dieser Art Schwankungen näher beleuchtet und ihre wahre Bedeutung hervorgehoben.

Hier soll ein anderer Factor untersucht werden, der sich in identischer Weise bei allen Versuchspersonen hat äussern können, und an welchen in erster Linie gedacht werden musste, — nämlich der etwaige Einfluss, welchen die Augenstellungen auf die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen ausüben.

Es ist schon oben erwähnt worden, dass Yves Delage aus seinen Versuchen den Schluss gezogen hatte, die von ihm beobachteten Täuschungen beruhten nur auf Aenderungen der Blickrichtung bei den Drehungen des Kopfes. Er konnte zu diesem Schlusse verleitet werden, wenigstens bei einem Theile seiner Beobachtungen, durch die blosse Anordnung seiner Versuche. Wenn man z. B. einen mit beiden Händen gehaltenen Stab nach vorn gegen einen gewissen Punkt richtet und dabei den Kopf nach der Schulter neigt, so wird die Spitze des Stabes in erster Linie schon durch die Ausführung dieser Drehung selbst von der früheren Richtung abgelenkt werden, und zwar in einem Sinne, der entgegengesetzt der Drehrichtung ist. Vermeidet man diese Fehlerquelle, indem man den Stab nach dem gewünschten Punkte richtet, erst nachdem die Kopfneigung schon ausgeführt wurde, so beobachtet man die gesagte Ablenkung dennoch, wenngleich in schwächerer Form, — und zwar sowohl bei offenen als bei geschlossenen Augen.

Der Grund liegt darin, dass die Blicklinie sich nicht mehr in derselben Ebene wie die Spitze des Stabes und der visirte Punkt befindet. Sie ist nach rechts oder nach links verschoben, je nachdem der Kopf nach rechts oder nach

links geneigt ist; die Blicklinie wird an der Spitze des Stabes vorbei nach der entgegengesetzten Seite von der der Lage des visirten Punktes gerichtet. Man sieht dies am leichtesten ein, wenn man den Stab nach vorn hin richtet. Es handelt sich dabei also keineswegs um eine Täuschung in der Wahrnehmung der Richtung, sondern um eine zufällige Folge der gewählten Versuchsanordnung. Sowohl im Dunkeln und bei Beleuchtung wird derselbe Fehler beim Visiren begangen. Das Schliessen der Augen ändert nichts Wesentliches an dem Fehler, da auch dabei mit den Augen visirt wird. Ein grosser Theil der Yves Delage'schen Versuchsergebnisse rührt von dieser Fehlerquelle her.

Bei meiner Versuchsanordnung, wo es sich nicht um das Visiren gegen einen bestimmten Punkt, sondern um die Wiedergabe unserer vorhandenen Wahrnehmungen der Richtungen durch Ausführung von geraden Linien handelt, war diese Fehlerquelle ausgeschlossen. Von einem derartigen Einfluss der Blicklinie konnte bei den hier mitgetheilten Versuchen also nicht die Rede sein.

Selbstverständlich konnte ich, bei der Anstellung meiner Versuche über den etwaigen Einfluss der Augenstellungen, auch nicht an die sogenannten compensatorischen Augenrollungen denken, die bei Kopfdrehungen um die sagittale Achse von Javal, Donders u. A. beschrieben und dann von Mach und Breuer, irrtümlich, mit dem Ohrlabyrinth in Beziehung gebracht wurden.

Das Irrthümliche einer solchen Auffassung ist durch eine lange Reihe von Versuchen, angestellt an Thieren und an Menschen, und nach vielen polemischen Erörterungen definitiv aufgeklärt worden. In meinen Arbeiten aus den Jahren 1878, 1897 und 1899 habe ich nachgewiesen, dass diese bei passiven Drehungen der Thiere auftretenden Augenbewegungen nichts mit den Bogengängen zu thun haben, dass letztere durch solche Drehungen keinerlei Erregungen erleiden, also solche auch nicht Erregungen auf den oculomotorischen Apparat übertragen können¹⁾. Auch die wahre Bedeutung der hier in Betracht kommenden Augenbewegungen wurde von mir experimentell festgestellt.

Die Versuche von Lyon (15) haben meine Angaben, dass diese Augenbewegungen auch nach Zerstörung des Ohrlabyrinths²⁾

1) Siehe meine Abhandlungen (2), (3), (9) und (10).

2) Eigentlich hat auch Breuer das Nämliche beobachtet, als er sah, dass die sogenannten compensatorischen Augenbewegungen auch nach Zerstörung der beiden Ohrlabyrinthe auftraten.

oder Durchschneidung der *N. acustici* auftreten können, vollauf bestätigt.

Der Ideengang, welcher mich zur Prüfung eines möglichen Einflusses der Augenstellungen auf die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen, die von dem Bogengangapparat abhängig ist, bewogen hat, war ein ganz anderer.

Die Gesetze, nach denen das Ohrlabyrinth den ganzen oculomotorischen Apparat beherrscht, die ich 1875—78 entdeckt und entwickelt habe, sind seitdem von mir mehrmals als eine der wichtigsten Grundlagen meiner Lehre von der Rolle des Ohrlabyrinths, als Sinnesorgan für die Orientirung in den drei Richtungen des Raumes, und für die Bildung unserer Vorstellungen von einem dreidimensionalen Raume, verwerthet worden.

Das harmonische Zusammenwirken der Gesichtsempfindungen des *Opticus* und der Richtungsempfindungen des *N. vestibularis s. spatialis*, das sowohl für unsere vollkommene Orientirung im Raume als für unsere Raumvorstellungen ein nothwendiges Erforderniss ist, wird eben, Dank der genannten Beherrschung des oculomotorischen Apparates durch den Bogengangapparat, hergestellt.

„Welchen Zweck, „schrieb ich letzters“, kann nun die Einrichtung haben, dass jede künstliche Erregung eines Bogengangpaares regelmässige Bewegungen der Augäpfel, des Kopfes und des Rumpfes in der Ebene dieses Bogenganges auslöst? Bei verschiedenen Thieren sind die Bewegungen des einen oder des anderen dieser Körpertheile vorherrschend. Aber, wie ich gezeigt, kann man jedes Thier zwingen, indem man die Bewegungen seines Rumpfes und Kopfes unmöglich macht, bei den erwähnten Erregungen nur Augenbewegungen auszuführen (4, 5 und 6). Die Verstellung der Blicklinie ist also der erste Zweck aller dieser von dem Bogengang ausgelösten Bewegungen. Daraus folgt: Die Richtung der Blicklinie hängt in gesetzmässiger Weise von der Qualität der Richtungsempfindung ab, welche die Erregung des betreffenden Ampullennerven erzeugt. Darin liegt der ganze Sinn der Abhängigkeit des oculomotorischen Apparates von dem Ohrlabyrinth.“ (7.)

Das Ohrlabyrinth beherrscht und ruft also zu bestimmten physiologischen Zwecken genau coordinirte Bewegungen des Kopfes, des Rumpfes und der Augäpfel hervor.

Darauf beruht eben die Fähigkeit des Ohrlabyrinths, die Innervationsstärken unseres gesammten willkürlichen ¹⁾ Muskelapparates

1) Die Behauptung, das Ohrlabyrinth vermöge auch gewisse unwillkürliche Muskelgruppen zu beherrschen, beruht auf missverstandenen Beobachtungen.

zu reguliren und zu beherrschen, eine Fähigkeit, die ich als nothwendiges Erforderniss für die Verrichtungen des Bogengangapparates Raumsinnorgan schon im Jahre 1876 aufgestellt habe.

Wie dies anderswo (7, Cap. 2) ausführlich auseinandergesetzt wurde, besteht einer dieser physiologischen Zwecke darin, die Thiere zu befähigen, sich mit Hülfe des Gesichtssinnes über die Quelle der ihr Gehörorgan erregenden Töne und Geräusche zu orientiren. Daher bewegen sich auch in erster Linie der Kopf und die Augäpfel bei künstlicher Erregung der Bogengänge in deren Ebene.

Diese gleichzeitige Mitwirkung gewisser Augen- und Kopfmuskeln zur Erreichung derselben Zwecke muss es bedingen, dass bestimmte Bewegungen des Kopfes und der Augäpfel mit gewissen Wahrnehmungen und Vorstellungen von Richtungen, die von dem Ohrlabyrinth herrühren, eng associirt sein müssen.

(Im Abschnitt 13 soll bei Besprechung der Versuchsergebnisse auf diese Beziehungen näher eingegangen werden.)

Es war also schon im Beginne der Versuche vorauszusehen, dass, wenn die Kopfbewegungen, welche bestimmten Richtungsempfindungen des Ohrlabyrinths entsprechen, willkürlich ausgeführt werden, dieselben nothwendig auf die Wahrnehmungen dieser Richtungen einen Einfluss ausüben müssen. Wurde einmal diese Voraussetzung experimentell bestätigt worden, so fragte es sich, wie dieser Einfluss modificirt werden können, wenn dieselben Kopfbewegungen mit oder ohne die gleichzeitigen entsprechenden Augenbewegungen ausgeführt, oder, etwa gar, von ganz anderen Augenbewegungen begleitet werden, welche den entgegengesetzten Kopfstellungen entsprechen.

Ein solcher Einfluss der Kopf- und Augenbewegungen auf die Wahrnehmung der, von den Bogengängen ausgehenden, Empfindungen ist streng von demjenigen zu unterscheiden, den, nach Mach-Breuer, dieselben Bewegungen als vermeintliche Erreger der Bogengänge ausüben sollen.

Der erstere ist eine rein psychologische Folge der Erregung der Bogengänge; der letztere, wenn er wirklich vorhanden wäre, was nicht der Fall ist, wäre, im Gegentheil, die Ursache dieser Erregung.

Die nun folgenden Figuren sollen zuerst dem Leser das Ergeb-

niss der zur Beantwortung der aufgeworfenen Frage angestellten Versuche demonstrieren.

Bei den Drehungen des Kopfes wurden zwei Augenstellungen geprüft. Die erste bestand darin, dass beide Augen nach unten, zur selben Seite wie der Kopf, gerichtet wurden. Bei der Neigung

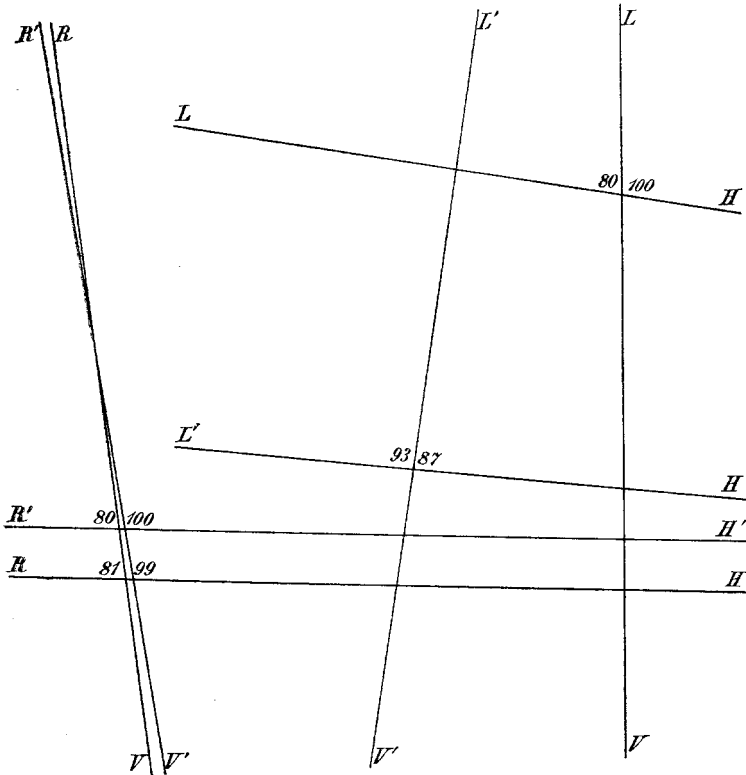


Fig. 22.

Versuchsperson C. Stehende Position; Drehung des Kopfes um seine sagittale Achse. RV und RH Rechtsneigung bei der Blickrichtung nach unten; LV und LH Linksneigung bei derselben Blickrichtung. $R'V'$, $R'H'$ und $L'V'$, $L'H'$ dieselben Kopfbewegungen bei der Blickrichtung nach oben. Winkelabweichungen gleich 9° und 10° im ersten Fall, 10° und 3° im zweiten.

des Kopfes zur linken Schulter entsprach die Augenstellung derjenigen, die wir einnehmen, wenn wir den Boden nahe an unserer linken Körperseite ansehen wollen. Bei der Rechtsneigung war die Blickrichtung nach unten rechts. Als zweite Augenstellung wurde die nach oben rechts bei der Linksneigung gewählt,

und zwar derart, als wollte die Person einen in der Höhe oberhalb der rechten Kopfseite befindlichen Gegenstand fixiren.

Bei der Rechtsneigung war die Blickrichtung nach oben links gewendet.

Die Versuche wurden an mir, an M. und G. ausgeführt.

Die erste Augenstellung entspricht derjenigen, die man am häufigsten und am leichtesten von selbst bei den Neigungen des Kopfes zur Schulter einnimmt.

Die zweite sucht man oft bei häufiger Wiederholung der Ver-

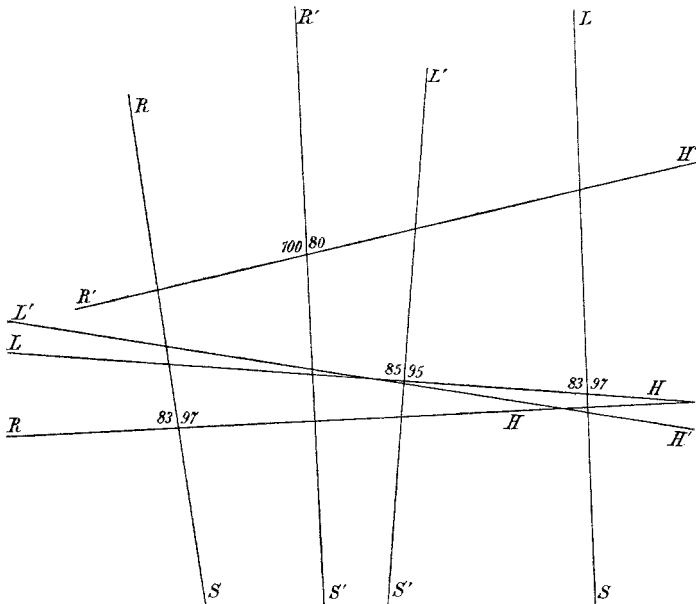


Fig. 23.

Versuchsperson C. Sitzend; Blick nach unten gerichtet: $RS-RH$, $LS-LH$. Winkelabweichungen gleich 7° und 7° . Blick nach oben gerichtet: $R'S'-R'H'$ und $L'S'$. Winkelabweichungen gleich 10° und 5° .

suche mit der Ausführung der Zeichnung unwillkürlich anzunehmen, im Wahne, trotz der geschlossenen Augen mit dem Blicke die Führung des Lineals und des Bleistifts zu controliren. Beide Augenstellungen waren also den Versuchspersonen angewohnt, und kann man mit ziemlicher Gewissheit annehmen, dass dieselben auch die angewiesene Stellung eingehalten haben.

In der Fig. 22 handelte es sich natürlich um die verticale und horizontale, in der Fig. 23 um die sagittale und transversale (horizontale) Achsen.

Die beiden Versuche sind nach einander ausgeführt worden.

Bei den drei Versuchspersonen hat die Blickrichtung keinerlei Einfluss auf den Sinn der Abweichungen in den Richtungen ausgeübt. Der Sinn der Täuschungen blieb immer derselbe.

Nicht so der Stärke der Abweichungen. Die horizontale resp. die transversale Richtung zeigte bei den Versuchspersonen wesentlich stärkere Abweichungen bei der Blickrichtung nach oben,

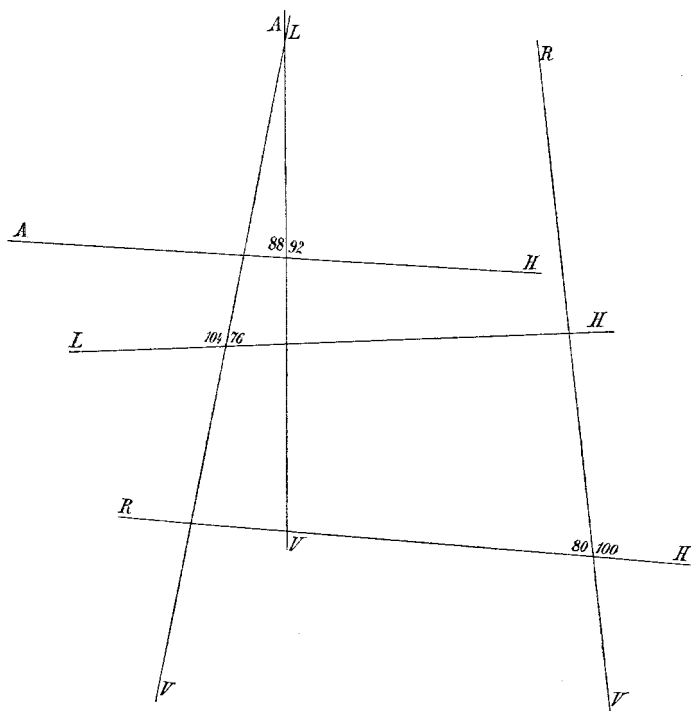


Fig. 24.

Versuchsperson M. Blicklinie nach unten gerichtet. Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse. Verticale und horizontale Richtungen. Die Bezeichnungen dieselben wie in Fig. 22. Winkelabweichungen gleich 10° und 14° . Bei aufrechter Kopfhaltung geben AV und AH 2° Abweichung.

als bei der nach unten, d. h. stärkere Täuschungen, wenn die Augäpfel in einer Richtung gestellt waren, die den Kopfeignungen entgegengesetzt war.

In den hier angeführten Figuren waren daher häufig die Winkelabweichungen grösser bei der Blickrichtung nach oben als bei der nach unten. Es kommt aber auch vor, (wie z. B. bei M. [Fig. 24 und 25]), dass, trotz der stärkeren Abweichungen der horizontalen

Linien doch eine Ausgleichung der Winkeldifferenzen stattfindet, und zwar durch kleine Neigungen der Verticalen.

Im Mittel von acht Versuchsreihen, an mir angestellt, waren die Differenzen, bei den Linksdrehungen, bei der Blickrichtung nach unten $= 11^\circ$, und gleich 10° , nach oben bei den Rechtsdrehungen waren die Differenzen $= 8^\circ$ und 19° . In drei Ver-

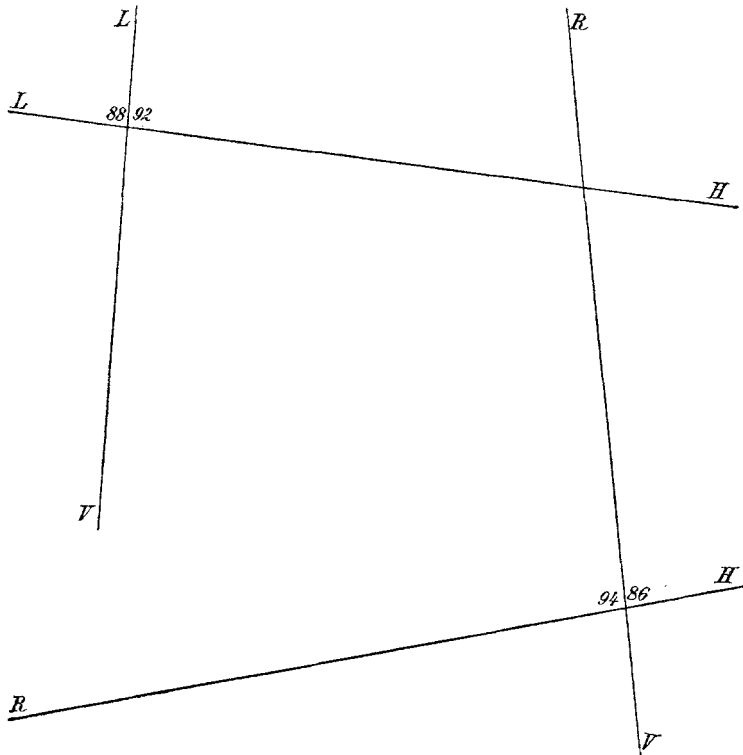


Fig. 25.

Versuchsperson M. Dieselben Kopfdrehungen wie in Fig. 24 bei nach oben gerichteter Blicklinie. Winkelabweichungen gleich 2° und 6° .

suchen war bei der Rechtsdrehung und Blickrichtung nach oben die Differenz $= 20^\circ$, und bei der Blickrichtung nach unten $= 0^\circ$.

Auf die Grösse der Abweichungen der verticalen und sagittalen Linien scheinen die Aenderungen der Blickrichtung, in der angegebenen Weise, keinerlei Einfluss auszuüben.

Die Figuren 28, 29 und 30 rühren von Versuchen mit Drehungen des Kopfes um seine verticale Achse her.

In den Versuchen 28 und 29 sind die sagittalen und transversalen Richtungen gezeichnet worden; in den Fig. 30 und 31 die verticalen und horizontalen. Es lassen sich keine merklichen Unterschiede in den Abweichungen mit Sicherheit feststellen zwischen den gerade nach vorne und den nach hinten gegen das Papierblatt hin gerichteten Blicklinien. Wie früher (Capitel 5) auseinandergesetzt,

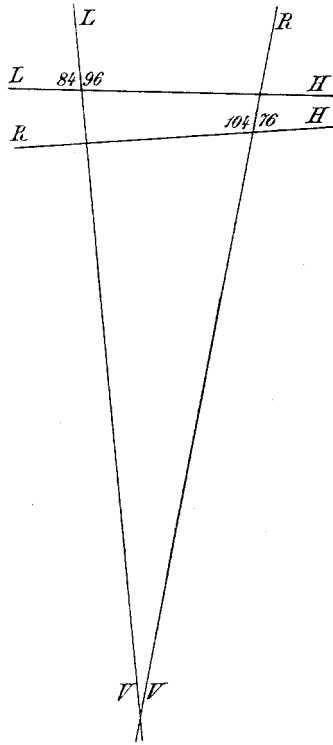


Fig. 26.

Versuchsperson G. Versuchsbedingungen wie in den beiden vorhergehenden Figuren. Blicklinie nach unten. Winkelabweichungen gleich 14° und 6° .

könnte bei Drehungen des Kopfes um seine verticale Achse nur von Täuschungen in der horizontalen Richtung die Rede sein.

Die oben (S. 186) gemachte Voraussetzung über einen eventuellen Einfluss der Blickrichtung auf die Stärke der Täuschungen, wenn dieselbe der Richtung der Kopfneigung entgegengesetzt ist, hat sich also nur bei den Täuschungen in der Wahrnehmung der horizontalen Richtung mit Bestimmtheit bestätigt gefunden.

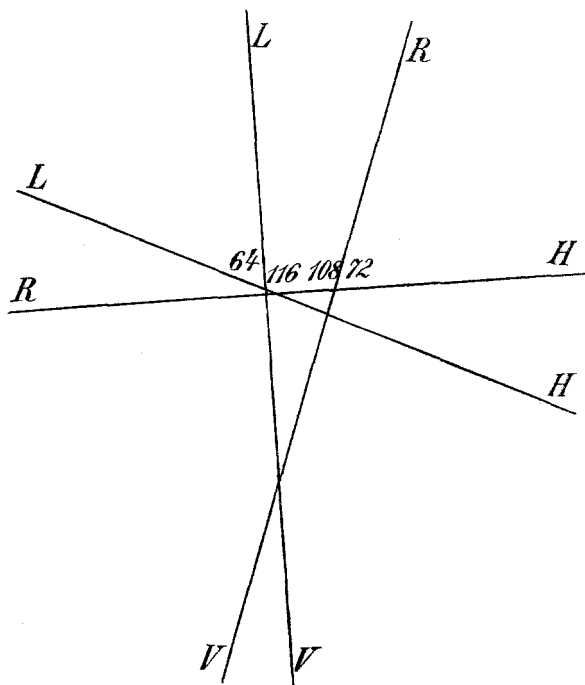


Fig. 27.

Dieselben Versuchsbedingungen. Blicklinien nach oben. Winkelabweichungen gleich 18° und 26° . NB. Die beiden Versuche sind an G. angestellt worden nach dem Violinspielen (s. nächsten Abschnitt).

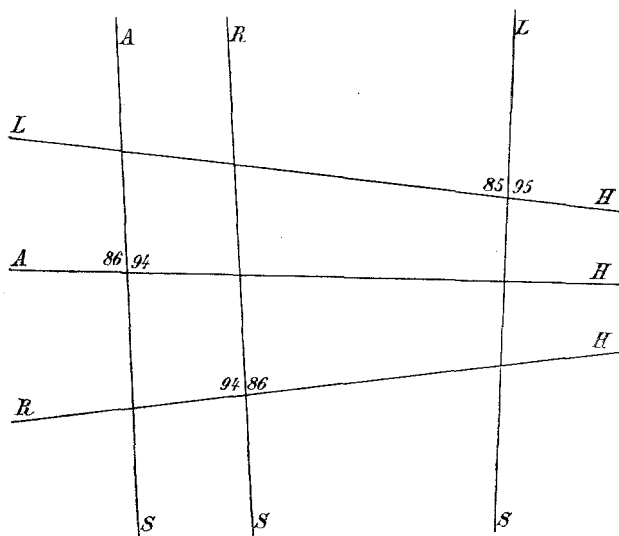


Fig. 28.

Versuchsperson C. Sitzend; Kopfdrehungen um die verticale Achse. Blick gerade aus nach vorne gerichtet. Winkeldifferenzen gleich 5° und 6° , bei aufrechter Kopfhaltung gleich 4° .

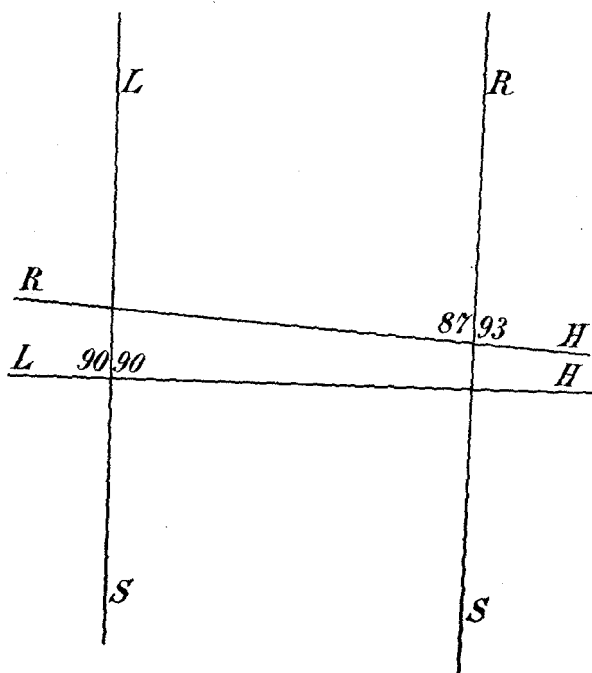


Fig. 29.

Versuchsperson C. Sitzend; dieselben Kopfdrehungen wie in Fig. 28. Blick nach hinten auf das Papierblatt gerichtet. Winkeldifferenzen gleich 0° und 3° .

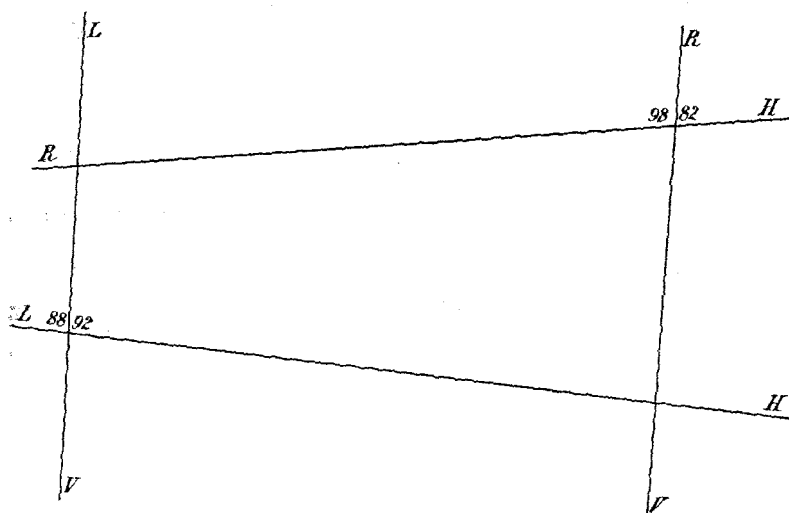


Fig. 30.

Versuchsperson M. Drehungen des Kopfes um seine verticale Achse. Blick gerade aus gerichtet. Winkelabweichungen gleich 2° und 8° .

8. Einfluss der Schallerregungen auf Täuschungen in den Richtungen.

Es wurde in den verhergehenden Abschnitten einige Mal auf die ganz ausserordentlich grossen Schwankungen der Winkeldifferenzen aufmerksam gemacht, welche in den von der Versuchsperson G. herrührenden Figuren (13, 18, 20, 26 und 27) auftreten.

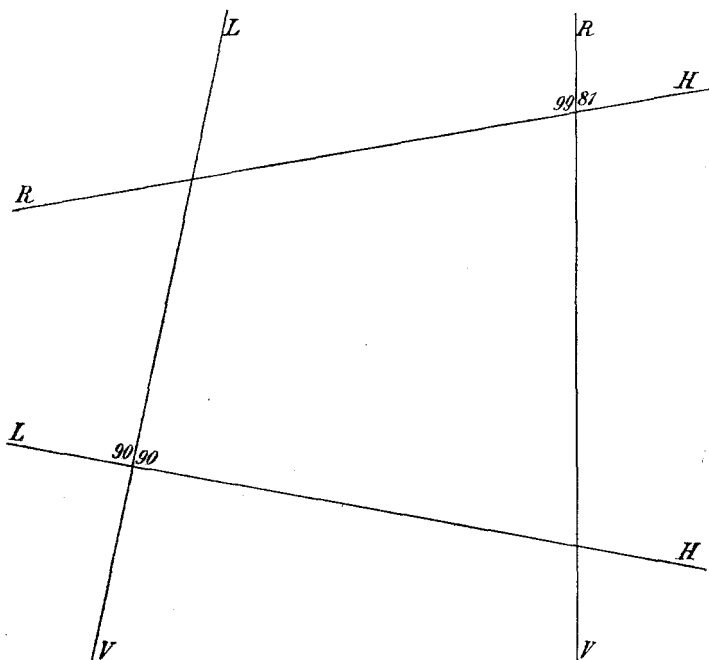


Fig. 31.

Ebenfalls M. Die nämlichen Kopfdrehungen; Blickrichtung nach unten. Winkeldifferenzen gleich 0° und 9° .

Es hat sich im Laufe der Versuche herausgestellt, dass so ganz abnorm intensive Täuschungen sich jedes Mal bei G. nur zeigten, wenn er zu Versuchen herangezogen wurde, gleich nachdem er längere Zeit Violine gespielt hatte.

Das grosse Interesse, welche diese Thatsache darbot, veranlasste mich, sowohl an ihm als an M. und noch an einer dritten Person Versuche auszuführen, um den Einfluss der Schallerregungen auf die Täuschungen in den Richtungen näher aufzuklären.

G. ist in hohem Grade musikalisch veranlagt und besitzt ein ausserordentlich empfindliches Gehörorgan.

Es sollen hier zuerst einige Versuche angeführt werden, welche darthun, dass, wenn sein Gehörorgan längere Zeit durch musikalische Schallwellen erregt wurde, die Täuschungen in den Richtungen bei ihm um Vieles intensiver werden als während der Ruhezeit.

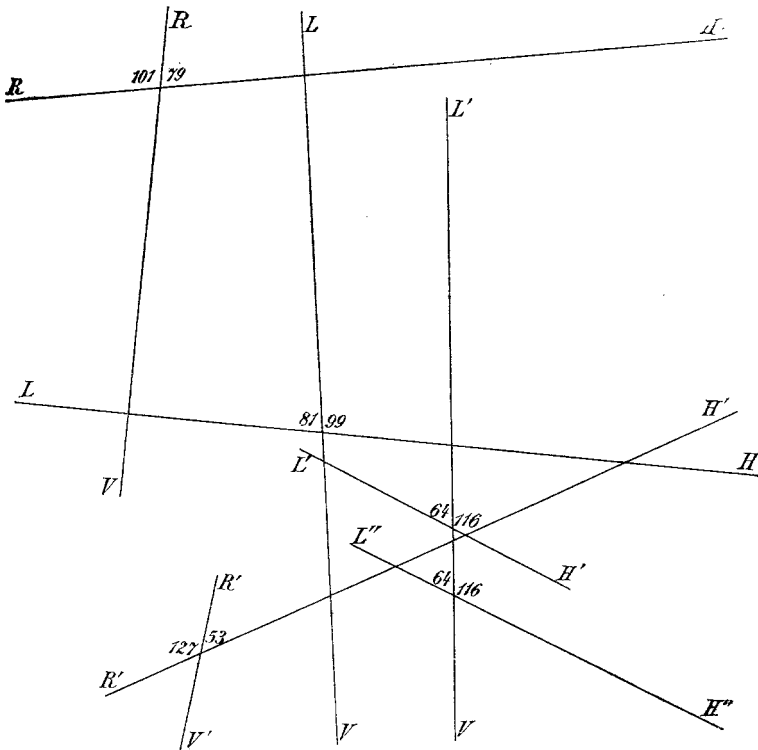


Fig. 32.

Versuchsperson G. $RV-RH$ und $LV-LH$ sind bei Neigungen des Kopfes zur Schulter mit offenen Augen gezeichnet worden. Winkelabweichungen gleich 11° und 9° . $R'V'-R'H'$ und $L'V'-L'H'$, bei geschlossenen Augen und im verdunkelten Zimmer. Winkelabweichungen gleich 37° und 26° . Versuche nach dem Violinspielen.

Die vorstehende Fig. 32 wurde von ihm sofort gezeichnet, nachdem er während einer Stunde Violine gespielt hatte.

Wie man sieht, sind die Abweichungen der Kreuzungswinkel der verticalen und horizontalen Linien sehr bedeutend, 11° und 9° bei Beleuchtung (wobei G. natürlich das Papierblatt nicht sehen

konnte) und 37° — 26° im Dunkeln. Die grosse Intensität der Täuschung ist hauptsächlich durch die starke Abweichung der horizontalen Linien bedingt worden. Der Sinn der Abweichungen der Richtungen ist der gewöhnlich bei G. beobachtete; derselbe ist durch die längere Zeit fortgesetzte Erregung des Ohr-labyrinths von den Schallwellen nicht beeinflusst worden.

Interessant ist in der Figur 32 die Linie $L''H''$. G. war nicht sicher, das erste Mal die horizontale Linie gut geführt zu haben. Er hob also das Lineal ab und legte es von Neuem an, immer im

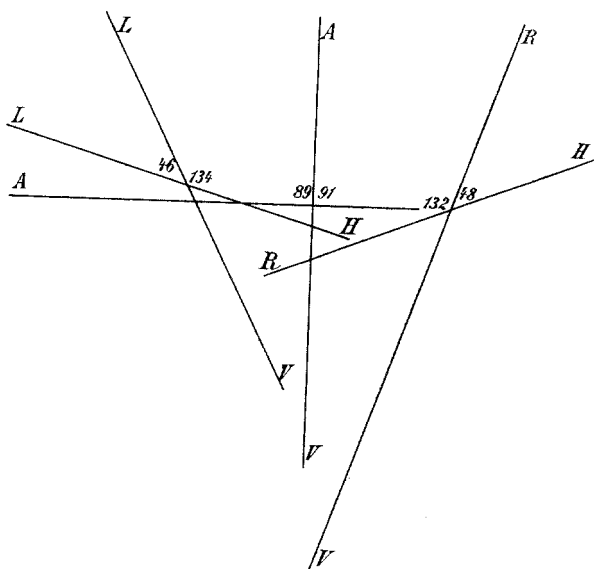


Fig. 33.

Dieselben Verhältnisse wie in Fig. 32. AV — AH sind bei aufrechter Kopfhaltung und im hellen Raume ausgeführt worden, die anderen Linien bei Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse.

Dunkeln; nun ist diese Linie genau parallel der vorher gezogenen Linie $L'H'$; die Winkeldifferenzen blieben gleichfalls die nämlichen.

Die Fig. 33 und 34 sind nach einem halbstündigen Violinspielen gezeichnet worden.

Bei aufrechter Kopfhaltung und im hellen Raum war die Winkelabweichung nur gleich 1° . Die Linien wurden durch den Gesichtssinn corrigirt.

In der Fig. 34 in dunklem Raume dagegen stieg bei der gleichen Kopfhaltung diese Abweichung bis zu 5° .

Die Abweichungen bei den Kopfdrehungen zur rechten und zur linken Schulter sind in der Fig. 33 gleich 42° und 44° , in der Fig. 34 gleich 30° und 20° . In den beiden sind die Täuschungen in den horizontalen Richtungen besonders stark ausgesprochen.

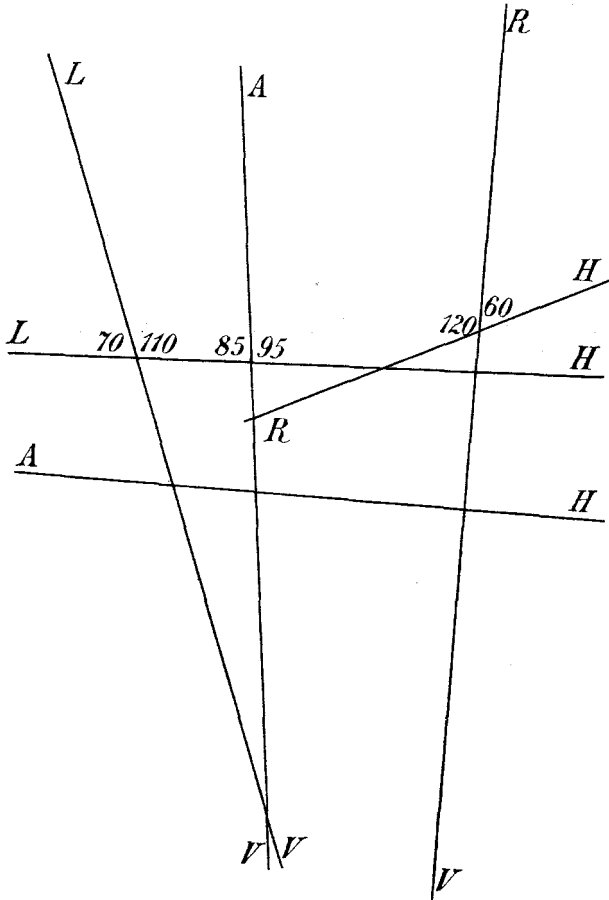


Fig. 34.

Dieselben Versuchsbedingungen und Bezeichnungen wie in Fig. 33; nur sind die Linien bei aufrechter Kopfhaltung im Dunkeln ausgeführt worden. (Aus Versehen wurden die Zahlen der Winkel $AV-AH$ auf der Kreuzung $AV-AL$ übertragen.)

Die Fig. 35 gibt bei G. die Täuschungen nach einer Violinstunde in den sagittalen und transversalen Richtungen.

Der erste Gedanke, den man bei so ausserordentlich grossen

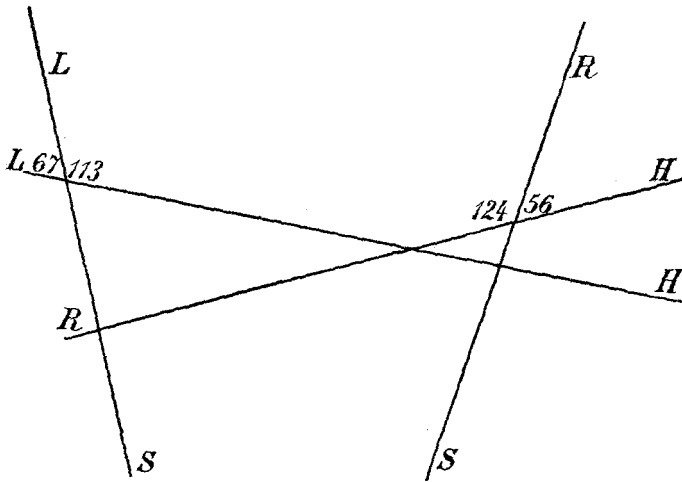


Fig. 35.

G. Sitzend; Kopf um die sagittale Achse gedreht. Winkelabweichungen gleich 34° und 25° .

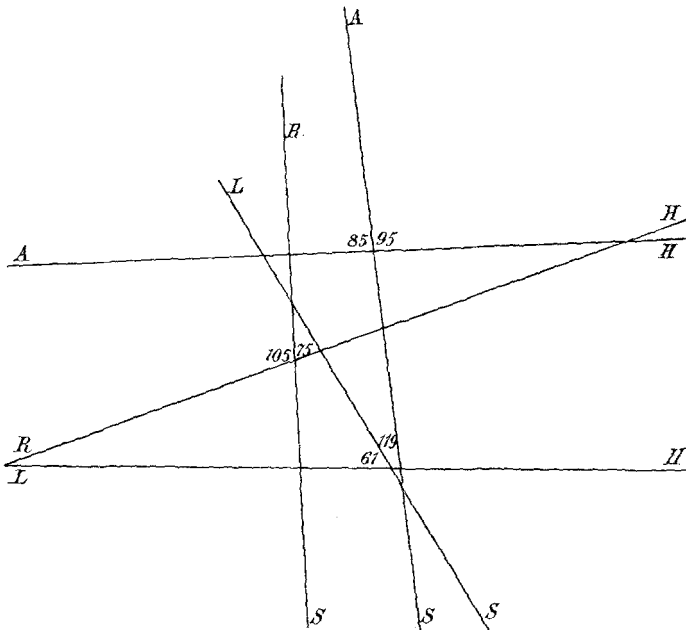


Fig. 36.

G., nach einem Concert. Drehungen des Kopfes um die verticale Achse; Versuch und Bezeichnungen wie in Fig. 35. AS und AH sind bei aufrechter Kopfhaltung gezeichnet.

Täuschungen eines Violinspielers haben konnte, war der, ob nicht die längere Zeit nach links geneigte Haltung des Kopfes einen Einfluss auf die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen ausübe. Um eine derartige Fehlerquelle zu beseitigen, genügte es, zu prüfen, ob die Täuschungen bei G. denselben Charakter behalten werden, wenn sein Gehörorgan längere Zeit musikalischen Erregungen ausgesetzt sein wird, ohne dass er selbst spielt. (Siehe Cap. 13 S. 105.)

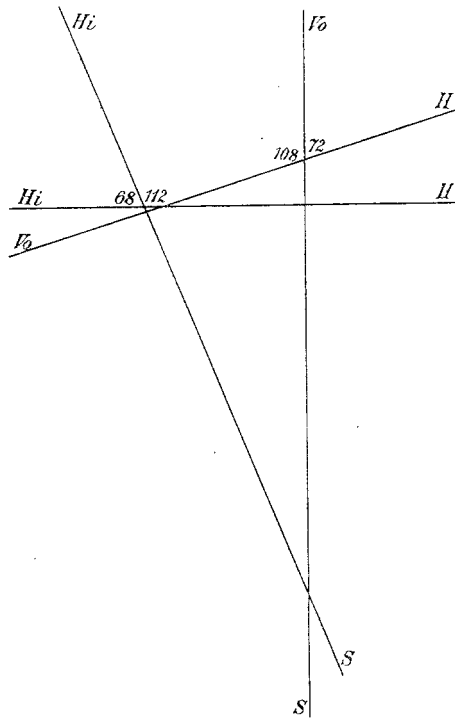


Fig. 37.

Versuchsperson G. Ebenfalls nach dem Concert. Drehungen des Kopfes um die transversale Achse. Die Winkelabweichungen sind bei der Neigung des Kopfes nach vorne gleich 18° , nach hinten gleich 22° .

Die Fig. 36 und 37 geben Rechenschaft über das Ergebniss solcher Prüfungen.

G. wohnte während ein paar Stunden einem sehr geräuschvollen Concert bei, unter Anderem einer Aufführung des zweiten Actes von „Tristan und Isolde.“

Eine halbe Stunde darauf wurde er einem Versuch unterzogen (Fig. 36).

Wie man sieht, zeigen auch hier die Winkelabweichungen hohe Zahlen: bei der Neigung nach rechts 15° , nach links 29° . Diese Abweichung ist bei der Linksneigung ausschliesslich durch die Täuschung in der sagittalen, bei der Rechtsneigung durch die in der transversalen Richtung erzeugt worden.

(Es sind hier die entsprechenden Zeichnungen bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse nicht wiedergegeben worden, weil

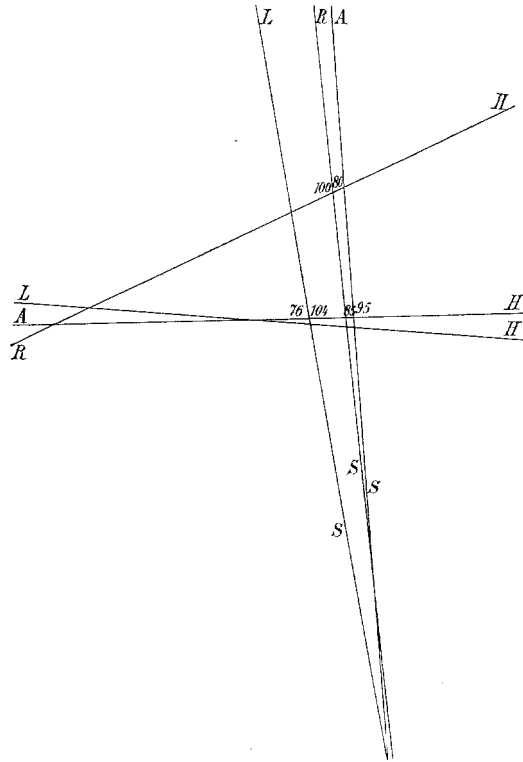


Fig. 38.

Versuchsperson G. 3 Stunden nach dem Violinspielen. Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse bei sitzender Position.

sie ganz denselben Charakter tragen, wie die obigen nach dem Violinspielen gewonnenen).

Dagegen zeigen die Abweichungen der Richtungen bei den Drehungen um die verticale und transversale Achse Verhältnisse, die nicht allein quantitativ von den gewöhnlich bei G. beobachteten abweichen. (Vergleiche mit den Figuren von Cap. 5.)

Der Versuch, von welchem die Fig. 38 herrührt, wurde ange-

stellt, um nachzusehen, wie lange die Wirkung der Schallwellen auf das Ohrlabyrinth, die sich durch die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen äussert, dauern kann.

Bei aufrechter Kopfstellung war auch hier die Winkelabweichung gleich der in den Fig. 34 und 36. Bei Neigungen des Kopfes war aber nur die Täuschung in der transversalen Richtung bei der Rechtsneigung ebenso bedeutend wie sofort nach dem Violinspielen. Die sagittalen Richtungen wichen nicht mehr ab als in den Versuchen, ohne vorherige Schallerregung des Ohrlabyrinths. Die Winkelabweichungen waren daher auch geringer als in den vorhergehenden Figuren.

Wir stellen hier die Mittelwerthe in den Abweichungen der Winkelgrössen von 90° , bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse, aus den eben hier mitgetheilten Versuchen, mit den Mittelwerthen zusammen, welche aus einer längeren Reihe von Versuchen, ohne vorherige Schallerregungen gewonnen wurden.

	Winkelabweichungen nach Schallerregung	Winkelabweichungen ohne Schallerregung
Aufrechte Körperhaltung im hellen Raum	1°	0°
Aufrechte Körperhaltung im dunkeln Raum	5°	2°
Neigung nach links im hellen Raum	9°	2°
Neigung nach links im dunkeln Raum	25°	2°
Neigung nach rechts im hellen Raum	11°	1°
Neigung nach rechts im dunkeln Raum	37°	2°

Die Mittelwerthe aus sämmtlichen an G. angestellten Versuchen nach Schallerregungen waren bei der Linksneigung des Kopfes im Dunkeln $= 28^\circ$, bei der Rechtsdrehung $= 36^\circ$.

Aehnliche Versuche mit der Schallerregung wurden auch an M. angestellt.

Die folgenden drei Figuren rühren von solchen Versuchen her.

Die Verstärkung der Winkeldifferenzen tritt auch bei M., wenn gleich in geringerem Maasse als bei G., auf. Sie rührt hauptsächlich von den Abweichungen der horizontalen Linien her, die auffallender Weise alle in demselben Sinne, von rechts oben nach links unten, gerichtet waren.

Die Mittelwerthe der Winkelabweichungen waren bei M. folgende:

	Winkelabweichungen nach Schallerregung	Winkelabweichungen ohne Schallerregung
Kopf aufrecht im hellen Raum	0°	0°
Kopf aufrecht im dunkeln Raum	$1,5^\circ$	$3,5^\circ$
Neigung zur linken Schulter im dunkeln Raum	7°	$4,5^\circ$
Neigung zur rechten Schulter im dunkeln Raum	10°	4°

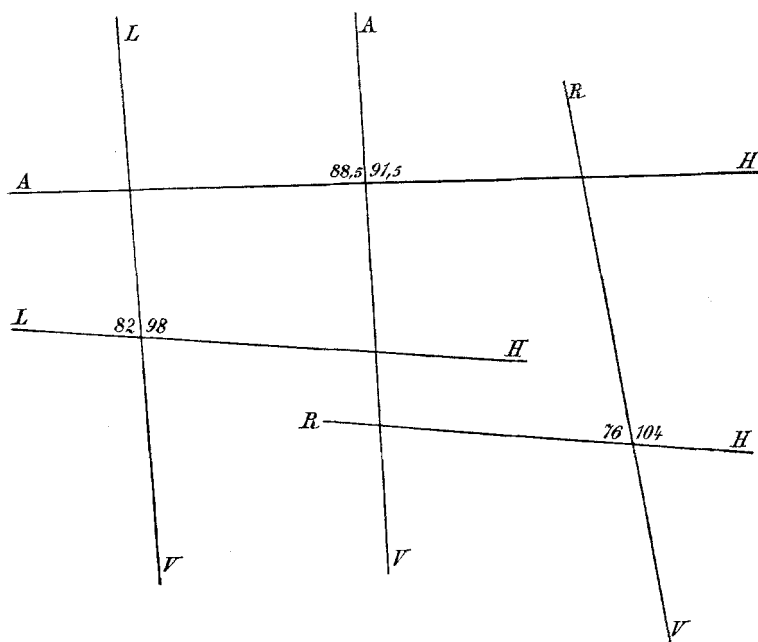


Fig. 39.

Versuchsperson M. Nach längerem Klavierspielen. Drehungen des Kopfes um die verticale Achse. Bei aufrechter Kopfstellung im Dunkeln Winkelabweichung gleich $1,5^\circ$. Bei den Drehungen des Kopfes nach rechts und links gleich 14° und 8° .

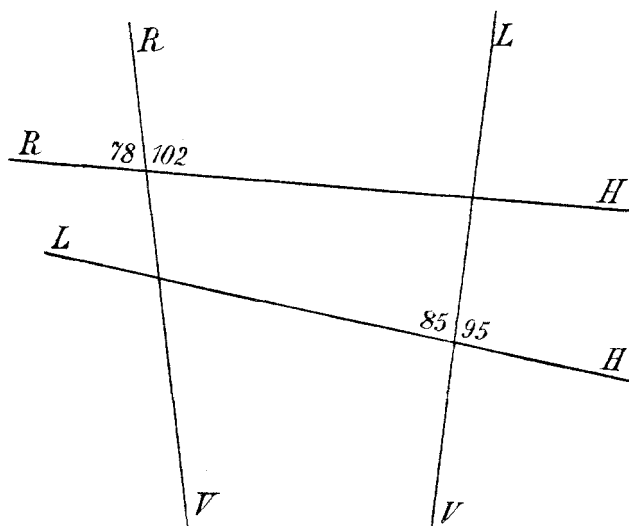


Fig. 40.

Versuchsperson M. Dieselben Verhältnisse wie in Fig. 39; Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse. Winkelabweichungen gleich 12° und 5° .

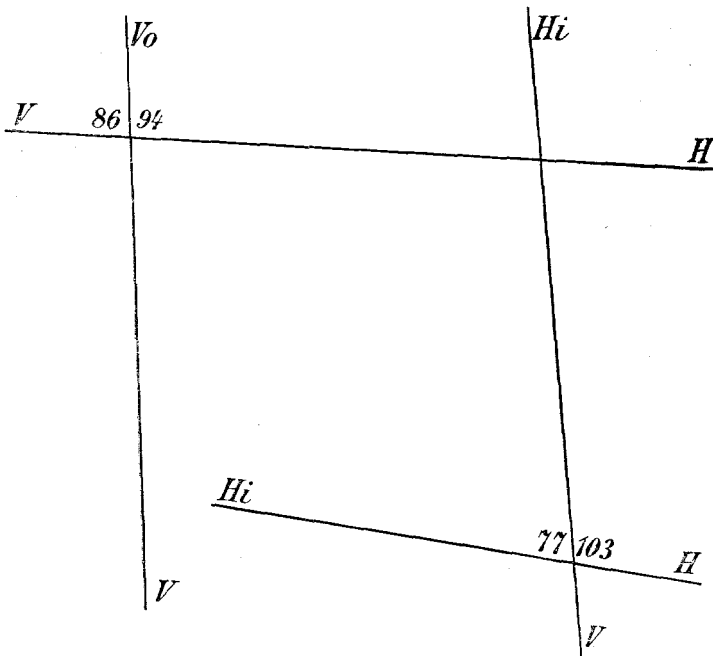


Fig. 41.

Versuchsperson M. Ebenfalls nach Clavierspielen. Drehungen des Kopfes um die transversale Achse. Winkelabweichung bei Drehung nach vorne gleich 4° , nach hinten gleich 13° .

Ausser an G. und M., hatte ich Gelegenheit bei einer dritten Versuchsperson nach einem Concert die Täuschungen bei Kopfdrehungen um die sagittale Achse zu messen. Sie waren sichtlich stärker als in den früheren, an derselben Person angestellten Versuchen, ohne aber so auffallend wie bei G. zu sein. Aber in diesem Falle rührten die Winkelabweichungen schon ausschliesslich von der grösseren Abweichung der horizontalen Linien her.

Im Laufe der folgenden Abschnitte wird auf die Frage der Erregung der Bogengänge als Richtungsorgane durch Schallwellen noch zurückgekommen werden. Die Versuche müssen noch an einer grösseren Anzahl von Personen ausgeführt werden, um die volle Bedeutung der bis jetzt gewonnenen Beobachtungen hervortreten zu lassen.

Diese Beobachtungen bieten nämlich in doppelter Beziehung ein grosses Interesse. 1. Sie liefern einen einfachen und augenscheinlichen Beweis, dass die Täuschungen, denen unsere Wahrnehmungen der drei Grundrichtungen im

dunkeln Raum unterliegen, in der That auf den von dem Ohrlabyrinth herrührenden Richtungsempfindungen beruhen. 2. Sodann, demonstrieren diese Versuche auch, dass die Vestibularnerven, welche die Richtungsempfindungen erzeugen, durch Schallwellen erregt werden können, d.h. durch dieselben Reize wie die eigentlichen Hörnerven. Damit wurde der erste experimentelle Hinweis auf die Natur des äusseren Erregers der Raumnerven gewonnen.

Die betreffende Lücke in meiner Lehre vom Raumsinn, die ich in meinen letzten Untersuchungen mehrmals mit Bedauern constatiren musste, ist somit zum Theil ausgefüllt worden. Dabei ist auch die Bahn gezeigt worden, auf welche die Experimentalkunst gerichtet werden muss, um über die Natur des Erregers der Raumnerven weitere und definitive Aufschlüsse zu erhalten.

In meiner ersten Untersuchung über die Verrichtungen der Bogengänge vom Jahre 1873, wo ich zuerst auf die Bedeutung des Ohrlabyrinths für die Bildung unserer Raumvorstellungen hingewiesen habe, indem „jeder Bogengang eine genau bestimmte Beziehung zu der einen Dimension des Raumes“ habe (2, S. 264), sprach ich mich zu Gunsten der akustischen Natur des Bogengangerregers aus. Auf Seite 264 ff. stellte ich damals sämtliche Thatsachen zusammen, welche darauf hinzuweisen schienen, dass die Schallwellen die Richtungs- oder Raumnerven zu erregen im Stande seien.

Die Schwierigkeiten, experimentell eine solche Möglichkeit zu erweisen und, mehr noch, die Nothwendigkeit, die Rolle der Endolymphströmungen, die durch Kopfdrehungen erzeugt sein sollen, sowie die der Otolithenbewegungen zu prüfen, lenkten Jahre lang meine Untersuchungen auf andere Bahnen hin. Aber schon im Jahre 1896, bei der Wiederaufnahme meiner experimentellen Studien über das Ohrlabyrinth, kehrte ich zu meiner früheren Auffassung zurück, der natürliche Erreger der Raumnerven sei in den Schallwellen zu suchen. Die Schwierigkeit bestand nur darin, directe experimentelle Beweise für diese Auffassung beizubringen. (Siehe 9, S. 111.)

Die in diesem Abschnitt mitgetheilten Versuche sind nicht die einzigen Beweise dieser Art. In den folgenden Abschnitten werden noch andere Versuche mitgetheilt, die in demselben Sinne aussagen.

9. Täuschungen in der Wahrnehmung der Schallrichtungen.

Nach den im vorhergehenden Abschnitt mitgetheilten Beobachtungen über die Beeinflussung der Wahrnehmungen der Richtungstäuschungen durch vorhergegangene Erregungen des Ohrlabyrinths mittelst Schallwellen, lag es an der Hand, zu prüfen, wie sich unsere Wahrnehmungen der Schallrichtungen verhalten werden, bei Drehungen des Kopfes um seine Achsen. Es war vorauszusehen, dass solche Drehungen zu Irrthümern in der Bestimmung der Schallrichtungen Anlass geben müssen. Werden aber diese Irrthümer ihrem Sinne nach den Täuschungen im dunklen Raume bei den gleichen Kopfstellungen entsprechen? Im Bejahungsfalle werden die einen wie die anderen Täuschungen auf dieselben Ursachen zurückgeführt werden können. Neue eclatante Beweise wären in diesem Falle, — und zwar wieder durch Versuche am Menschen, — gewonnen, die die Herkunft unserer Richtungswahrnehmungen von Erregungen des Ohrlabyrinths demonstrieren würden.

Auch bei diesen Versuchen wurde eine möglichst einfache Anordnung getroffen, die deren Wiederholung erleichtern sollte. Eine elektrisch schwingende Stimmgabel von König wurde senkrecht, mit den Zwingen nach unten, befestigt, und zwar in einer Höhe, die dem Kopfe der Versuchsperson entsprach. Letztere stellte sich gegenüber der schwingenden Stimmgabel, in einer Entfernung von etwa 2 Meter, auf.

Bei aufrechter Kopfstellung, gleichgültig ob mit offenen oder geschlossenen Augen, hört man die Schwingungen der Stimmgabel genau in der Richtung der Schallquelle.

Fixirt man mit den Augen einen Gegenstand, der genau in der Richtung der Schallquelle gelegen ist, so hat man oft die Empfindung, die Letztere befände sich weiter entfernt, in derselben Richtung.

Dreht man nun den Kopf um seine sagittale Achse nach links, so scheint die Tonquelle nach rechts verlegt zu werden, und zwar scheint sie einen Kreisbogen in einer der Kopfneigung entgegengesetzten Richtung zu beschreiben. Bei der Drehung nach rechts scheint die Tonquelle einen Kreisbogen nach links zu beschreiben. Wenn die Drehung langsam geschieht, so ist die Empfindung der Bewegung der Tonquelle so lebhaft, dass man das Gefühl hat, man sehe fast die Bewegung.

Werden während der Kopfdrehung die Augen geschlossen, so erkennt man nicht weniger genau die Bewegung der Tonquelle. Hält man den Kopf längere Zeit zur Schulter geneigt, so scheint die Tonquelle immer in der entgegengesetzten Richtung zur Kopfeigung und, zwar auf derselben Höhe sich zu befinden¹⁾.

Bei den vier Personen, an denen ich diese Versuche angestellt habe, äusserte sich die Täuschung über die Richtung der Tonquelle ganz in demselben Sinne wie bei mir, d. h. sie verlegten diese Tonquelle in eine Richtung, die der Kopfeigung entgegengesetzt war. Die Intensität dieser Täuschung war verschieden gross bei den verschiedenen Personen; auch war sie nicht gleich gross bei beiden Kopfstellungen. Der Sinn und auch theilweise die Grösse der Abweichungen blieben aber bei diesen Versuchspersonen unverändert.

Die Täuschungen in der Schallrichtung bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse entsprachen also, ihrem Sinne nach, genau den in dem Abschnitt 4 mitgetheilten Täuschungen in der Wahrnehmung der verticalen Richtung im verdunkelten Raume, natürlich bei den analogen Drehungen.

Was die Identität der beiden Täuschungen noch deutlicher hervortreten lässt, ist folgender Umstand: In den vorhergehenden Abschnitten wurde gezeigt, dass bei G. (meinem zehnjährigen Knaben) der Sinn der Richtungstäuschungen ein entgegengesetzter war, als bei mir und bei allen anderen Versuchspersonen, indem die Abweichungen der verticalen Linien bei ihm in demselben Sinne geschahen wie die Kopfeigungen²⁾.

Die Prüfung der Täuschungen in der Schallrichtung ergab nun bei G. denselben Gegensatz zu den anderen Versuchspersonen, wie bei den übrigen Täuschungen in der Verticalen. Bei der Kopfeigung nach links wurde von ihm die Tonquelle auch nach links empfunden und umgekehrt, bei der Kopfeigung nach rechts.

Abgesehen von dem Sinne der Täuschung, waren die anderen Begleiterscheinungen derselben bei G. analog denen bei den übrigen

1) Von den Schwankungen der Intensität der Schallempfindungen bei diesen Kopfeigungen wird hier abgesehen. Sie verdienen gesondert untersucht zu werden.

2) „Sie sind meinen Kopfeigungen parallel,“ wie G. sich auszudrücken pflegt.

Versuchspersonen. Die Stärke der Abweichungen war so ziemlich auf beiden Seiten die nämliche.

Drehungen des Kopfes um eine verticale Achse, wobei möglichst sorgfältig jede Kopfneigung vermieden wurde, erzeugten, nur in viel geringer ausgesprochenem Grade, eine analoge Täuschung: Die Schallquelle schien sich in entgegengesetzter Richtung zu der des Kopfes zu bewegen. Dabei wurde aber folgender Unterschied sowohl von mir, als von M. beobachtet. Bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse erschien der Kreisbogen vertical gestellt zu sein, und mit den Schenkeln nach unten gerichtet. Die Schallquelle schien auf diese Weise einen Augenblick etwas höher gestellt zu sein, als sie es in der Wirklichkeit war. Bei den Drehungen um die verticale Achse dagegen erschien die Bahn des Kreisbogens von oben nach unten zu verlaufen, um am Ende wieder nach oben zu steigen: der Kreisbogen schien also nach oben geöffnet zu sein.

Die regelmässige Zunahme der Intensität des Tones in einem gewissen Punkte dieser Bahn war sehr genau zu constatiren. Die Lage dieses Punktes variirte aber bei verschiedenen Versuchspersonen und war nicht die gleiche bei den Drehungen nach links und nach rechts.

Bei näherer Prüfung erschienen diese Variationen in Zusammenhang mit der ungleichen Hörschärfe der beiden Ohren zu stehen.

Drehungen des Kopfes um seine transversale Achse haben keine bestimmten Ergebnisse in der Verlegung der Schallquelle ergeben.

Wurde bei den Versuchspersonen das eine Ohr durch einen Wattetampon verschlossen, so vermochte dies keinen merklichen Einfluss auf den Sinn der Täuschungen auszuüben, die durch Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse erzeugt wurden.

Auch in der Intensität der Täuschungen liess sich dabei keine constante Differenz feststellen.

Interessanter war folgender Versuch: Statt mit dem Gesicht, stellte sich die Versuchsperson mit dem Hinterkopf der schwingenden Stimmgabel gegenüber, indem sie derselben den Rücken kehrte. Trotzdem die Stellungen der Augen und der Bogengänge dabei gewechselt wurden, blieb der Sinn der Täuschung genau derselbe. Mit Ausnahme von G. empfanden alle Versuchspersonen eine Abweichung der Schallquelle nach rechts, bei der Neigung des Kopfes nach links, und umgekehrt. Bei G. stimmten die Veränderungen der Schallrichtung wieder genau mit den Richtungen der Neigungen überein.

Es schien also für den Sinn der Täuschungen gleichgültig zu sein, ob die Schallquelle sich vorne oder hinten von den Versuchspersonen befand. Die umgekehrte Richtung der Blicklinie, sowie die entgegengesetzte Stellung des rechten und linken Auges und der entsprechenden Trommelfelle, übten scheinbar bei den Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse keinen Einfluss auf den Sinn dieser Täuschungen aus.

Bei diesen Versuchen über die Täuschungen in den Schallrichtungen, wobei die Tonquelle sich hinter den Versuchspersonen befand, trat aber constant eine eigenthümliche Erscheinung auf, die hervorgehoben zu werden verdient.

Im Beginne der Neigung des Kopfes zu der einen oder zu der anderen Schulter hin, etwa, ehe die Neigung $15-20^{\circ}$ erreichte, schien die Schallquelle sich in demselben Sinne wie der Kopf zu bewegen; d. h. nach rechts bei der Rechtsneigung und nach links bei der Linksneigung. Erst wenn der Kopf an dem bestimmten Punkte (Winkel von $15-20^{\circ}$) angelangt war, schlug die scheinbare Bewegung der Tonquelle die entgegengesetzte Richtung ein, die es dann auch bis zum Ende der Neigung einhielt.

Hält man die Kopfneigung in dem erwähnten Punkte an, so tritt der Umschlag der Richtung dennoch ein. Bemerkenswerth ist, dass diese Erscheinung auch bei G. zum Vorschein kam, aber in entgegengesetztem Sinne: Im Beginne der Kopfneigung, bis zu einem Winkel von etwa $15-20^{\circ}$, schien die Schallquelle sich in entgegengesetzter Richtung zu bewegen, also rechts bei der Linksneigung und umgekehrt. Das ist auch der einzige Fall, wo bei G. vorübergehend die Richtung der Täuschung nicht in demselben Sinne geschah wie die der Kopfbewegung. Bei ihm schlug, sobald der bestimmte Punkt überschritten, oder die Neigung des Kopfes an dem Punkte sistirt wurde, die Täuschung von Neuem eine der Kopfneigung parallele Richtung ein.

Diese Erscheinung scheint von der Knochenleitung durch die Occipitalknochen bedingt zu werden.

Bei Gelegenheit der hier mitgetheilten Versuchsreihe mit den Schallprüfungen prüfte ich an mir selbst und an M., G. und F., ob die vorherige Erregung des Ohrlabyrinths, durch die Schwingungen der

Stimmgabel, die beinahe zwei Stunden dauerte ¹⁾, auf die Täuschungen der Richtungsempfindungen irgend welchen Einfluss anzuüben vermöge. Das Ergebniss war folgendes: Die Winkelgrössen waren:

	C.	M.	F.	G.
Aufrechte Kopfhaltung:	r. 88 — 1. 92,	—	r. 84 — 1. 96,	r. 93 — 1. 87
Linksneigung:	r. 96 — 1. 84,	r. 74 — 1. 106,	r. 80 — 1. 100,	r. 123 — 1. 57
Rechtsneigung:	r. 109 — 1. 71,	r. 100 — 1. 80,	r. 97 — 1. 83,	r. 70 — 1. 110

Die Wirkung der Erregung des Ohrlabyrinths war augenscheinlich. Sie war nur stärker bei G. und M. (Abweichungen von 90° bei M. bis 16° und 20° ; bei G. 3° , 33° und 20° .) Bei F. ²⁾ waren sie 6° bei aufrechter Kopfhaltung, 20° bei der Linksneigung und 7° bei der Rechtsneigung. Bei mir war sie gering bei der Aufrechterhaltung des Kopfes = 2° , 6° bei Linksneigung und 19° bei der Rechtsneigung. Diese Zahlen sind bedeutend grösser als die in den Figuren 1, 2 und 3 angeführten. Der Sinn der Abweichungen der gezeichneten Linien war bei allen Versuchspersonen der nämliche, wie ohne specielle Erregung des Ohrlabyrinths durch Schallerregungen.

Abgesehen von dieser letzteren Bestätigung der wichtigen Ergebnisse des vorigen Abschnittes, — nämlich des Einflusses der Schallerregungen auf die Intensität der Richtungstäuschungen, — haben die hier mitgetheilten Versuche gezeigt, dass die Täuschungen in der Wahrnehmung der Schallrichtungen Gesetzen unterliegen, die, wenigstens bei Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse, genau mit denen identisch seien, welche wir in den früheren Abschnitten bei den Versuchen im dunklen Raume constatirt haben. Die im Beginne dieses Abschnittes aufgestellte Frage (S. 205) ist also mit Bestimmtheit bejaht, und die dort vorausgesetzte Schlussfolgerung aus einer solchen Bejahung experimentell bestätigt worden. Die Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen im dunklen Raume hängen also auch von dem Ohrlabyrinth ab, ebenso wie dies unzweifelhaft für die Täuschungen in den Schallrichtungen der Fall ist. Dies bestätigt also den Satz, dass die Schallwellen die allgemeinen Erreger der Richtungsempfindungen seien.

1) Für M. und G. war das Geräusch der schwingenden Gabel sehr peinlich; für C. und F. ziemlich gleichgültig.

2) Vergleiche die Abweichungen der Winkelgrössen bei F. unter normalen Verhältnissen in der Fig. 4.

10. Täuschungen über die Herkunft der entotischen Geräusche.

In einer meiner letzten Untersuchungen über das Ohrlabrynth als Organ des Raumsinnes (10) lenkte ich die Aufmerksamkeit auf gewisse entotische Geräusche, die eine bestimmte Rolle als constante Erreger der Ampullennerven spielen könnten.

Diese Geräusche entgehen gewöhnlich unserer Wahrnehmung wegen Angewöhnung und mangelnder Aufmerksamkeit.

„Es genügt aber meistens,“ schrieb ich, „die Aufmerksamkeit längere Zeit auf dieselben zu lenken, um auch ohne weitere Kunstgriffe diese Geräusche zu vernehmen. So z. B. höre ich seit mehreren Wochen die schwirrenden und klangvollen Geräusche unter dem Schädeldach, meistens im Hinterkopfe und in der Gegend der Zitzenfortsätze, welche mit Herzschlägen synchronisch sind, und zwar auch beim Stehen oder Sitzen mit aufrecht gehaltenem Kopf, nur Dank dem Umstande, dass ich längere Zeit meine Aufmerksamkeit auf dieselbe gelenkt habe. (10, S. 287.)“

Diesen sehr lästigen Geräuschen, einer Art pulsirenden Ohrensausens, bin ich seitdem fast ohne Unterbrechung ausgesetzt. Sie haben sogar an Kraft bedeutend zugenommen, so dass ich mittelst derselben leicht die Zahl meiner Pulsschläge und auch ihre Intensitätsschwankungen zu bestimmen vermag. Bei gestütztem Kopfe und geneigter Lage nehmen sie bedeutend zu, was bei meiner chronischen Schlaflosigkeit im hohen Grade peinlich ist. Ich musste an ein Mittel denken, wenigstens des Nachts dieselben zu bekämpfen, und gelang es mir in der Erzeugung eines äusseren rhythmischen Geräusches in der Nähe des Ohres auch ein solches zu finden. Eine schwingende Stimmgabel oder, noch einfacher, das Nähern einer gehenden Uhr an ein Ohr vermag momentan diese pulsirenden Geräusche aufzuheben.

Das Tik-tak der Uhr genügt unter diesen Umständen, um das Geräusch in beiden Ohren zu sistiren. An die Schädelknochen direct angelegt, ist die hindernde Wirkung des Uhrpendels viel geringer¹⁾. Diese hemmende Wirkung äusserer rhythmischer Schallreize auf die entotischen Geräusche kann kaum, durch die Ablenkung der Aufmerksamkeit allein, erklärt werden. Weder die

1) In letzterer Zeit wurde dieses Ohrensausen mehrmals durch den längeren Gebrauch von Salicylatpräparaten nicht unerheblich verstärkt; das Anlegen der Uhr an das Ohr genügte dennoch, um dasselbe sofort zu sistiren.

Geräusche der Strasse, wie z. B. das Rasseln der Wagen, noch das Lesen oder das Gespräch mit mehreren Personen vermögen die Empfindung dieses pulsirenden Ohrensausens oder, richtiger, dieser sausenden Pulsationen, aufzuheben.

Dagegen bin ich bei der Eisenbahnfahrt von denselben ganz frei, solange das regelmässige Rasseln des Zuges anhält.

Es scheint also hier die Demonstration eines Phänomens vorzuliegen, dessen Möglichkeit oder Vorhandensein ich als nothwendig für das regelrechte Functioniren der Raumsinnorgane vorausgesetzt habe; nämlich, dass von aussen her kommende Schallreize die in den Centren der Kopf- und Augenmuskeln herrschenden Hemmungen, welche von den Nerven des Bogengangapparats ausgehen, momentan aufheben können, und auf diese Weise Bewegungen des Augapfels und eventuell auch des Kopfes in der Richtung der Geräuschquelle zu erzeugen vermögen (10, S. 288).

Die nähere Erörterung der daraus folgenden Consequenzen für die Gestaltung der Raumsinnlehre gehört aber nicht hierher. Die entotischen Geräusche sind hier nur angeführt worden, um auf die folgende Richtungstäuschung aufmerksam zu machen, zu denen sie bei mir Veranlassung geben.

Gewöhnlich ist bei aufrechter Kopfhaltung das Ohrensausen bei mir etwas stärker im rechten Ohr, d. h. ich empfinde das Sausen stärker rechts als links. Wenn ich nun Kopfneigungen um die sagittale Achse ausführe, so beobachte ich constant Folgendes: Wird der Kopf zur linken Schulter geneigt, so höre ich das Sausen und, zwar bedeutend verstärkt, nur am rechten Ohr und localisire die Geräuschquelle etwas oberhalb von diesem Ohre.

Bei Neigung des Kopfes zur rechten Schulter entsteht das Gegentheil: ich empfinde das pulsirende Sausen nur links oben mit dem linken Ohr.

Die Täuschung geschieht also ganz in derselben Weise wie in den Versuchen mit der schwingenden Stimmgabel¹⁾:

Die Quelle des Ohrensausens wird nach der entgegengesetzten Richtung von der der Kopfneigung verlegt.

1) Siehe oben S. 205.

Bei der Hemmung dieser Geräusche tritt aber bei mir ein gewisser Unterschied zwischen dem rechten und linken Ohr auf, wenn der Kopf zur Schulter geneigt ist. So gelingt es mir bei der Rechtsneigung dieses pulsirende Ohrensausen sofort los zu werden, wenn ich an das rechte Ohr eine Uhr nähere. Bei der Linksneigung dagegen vermag ich durch das Anlegen einer Uhr an das linke Ohr ein solches Resultat nicht zu erzielen; das Sausen im rechten Ohr wird zwar geschwächt, aber nicht ganz aufgehoben.

Wie dem auch sei, zeigen diese Selbstbeobachtungen, dass auch gewisse entotische Geräusche bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse denselben Täuschungen in der Wahrnehmung ihrer Richtung unterliegen, wie die von aussen her kommenden Schallerregungen. Diese Richtungstäuschungen gehorchen also denselben Gesetzen, denen die Wahrnehmung der Richtungen im Dunkeln unter analogen Bedingungen unterliegen.

II. Neue Versuche über die von Aubert beschriebene Täuschung¹⁾.

Es wurde im Laufe dieser Mittheilung mehrmals auf die grosse Analogie zwischen den Täuschungen über die verticale Richtung bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse mit der, von Aubert beobachteten Schiefstellung einer im dunklen Raume beleuchteten verticalen Linie bei analogen Drehungen aufmerksam gemacht.

Die im Abschnitt 9 beschriebenen akustischen Täuschungen bei Neigung des Kopfes zur Schulter hin, bieten ebenfalls eine grosse Analogie mit der optischen Täuschung von Aubert.

Die Forscher, welche das Aubert'sche Phänomen bisher studirt haben, sind zu keiner befriedigenden Erklärung desselben gelangt.

Die einen wollen die Ursache der Täuschung in einer Unterschätzung oder in einem Uebersehen der Kopfneigung finden (Aubert, Helmholtz); die Anderen, im Gegentheil, erklären das Schiefsehen der Verticalen in einer Ueberschätzung der Neigung des Kopfes (Yves Delage u. A.).

Nach einer längeren Reihe von Versuchen hat Nagel (6) darauf verzichtet, eine erschöpfende Erklärung der Täuschung zu

1) Das von Nagel so genannte Aubert'sche Phänomen.

geben. Er schien aber zu ahnen, dass es sich möglicherweise bei dieser Erscheinung gar nicht um eine Täuschung, die von der Netzhaut allein ausgeht, handelt, sondern dass das Phänomen auch von dem Ohrlabyrinth abhängig sein könne. Darauf deutet wenigstens seine Absicht, diese Täuschung bei Taubstummen zu studiren.

Es ist mir nicht bekannt, ob Nagel seit dem Jahre 1897 diese Absicht auszuführen Gelegenheit hatte. So viel ich weiss, hat er nichts darüber veröffentlicht. Es ist auch kaum anzunehmen, dass Nagel, der die sogenannten compensatorischen Augenbewegungen im Sinne Breuer's aufzufassen scheint, bei derartigen Voraussetzungen irgend welche klaren Ergebnisse aus Versuchen an Taubstummen würde erhalten haben. Dies ist nach den im Eingang des 9. Abschnitts gegebenen Erörterungen von selbst klar¹⁾.

Die neueste Untersuchung über das Aubert'sche Phänomen, die von Sachs und Meller herrührt, hat gleichfalls zu keiner befriedigenden Deutung desselben Anlass gegeben. Auch diese Autoren sprechen die Hoffnung aus, vielleicht durch Versuche an Taubstummen Aufschluss über die Ursachen dieses Phänomens erlangen zu können.

Sollte es sich in der That herausstellen, dass gewisse angeborene Taubstumme²⁾ der Aubert'schen Täuschung nicht unterliegen, so könnte dies nur einen analogen Grund haben, wie ihre Unfähigkeit, vom Gesichtsschwindel befallen zu sein (s. oben S. 141, auch 2, S. 25).

Bei der grossen Analogie, welche zwischen der Aubert'schen Täuschung und denen von mir hier untersuchten Täuschungen herrscht, war es gewiss von Interesse, einige Versuche über die ersten und zwar bei denselben Personen, welche mir bei den mitgetheilten Versuchsreihen zur Verfügung standen, anzustellen. Besonders interessirte es mich, festzustellen, ob bei G., im Falle auch er bei den Kopfeignungen zur Schulter eine im Dunkeln beleuchtete Verticale schief sehen wird, diese Schiefstellung in der entgegengesetzten Richtung, wie bei Aubert und seinen Nachfolgern, erscheinen wird, oder ob G. auch hier eine Ausnahme machen, und

1) Auf Seite 392 der Mittheilung von Nagel finden sich einige Einwände gegen meine Deutung der sogenannten compensatorischen Augenbewegungen, die augenscheinlich auf einem Missverständniss derselben beruhen. Durch meine späteren Untersuchungen über diesen Gegenstand (9 und 3) sind diese Einwände von selbst erledigt worden.

2) D. h. solche, die kein functionsfähiges Bogengangssystem besitzen.

diese Schiefstellung in derselben Richtung wie die Kopfdrehung wahrnehmen wird.

Die von mir benutzte Versuchsanordnung war folgende: Auf einem in verticaler Richtung verstellbaren Tisch, dessen Platte um ihre Längsachse drehbar war, wurde eine kleine viereckige Kiste befestigt. An der einen Wand dieser Kiste befand sich eine Längsspalte von 1 mm Breite und 20 cm Länge. Durch eine Oeffnung an der entgegengesetzten Wand konnte eine elektrische Lampe eingeführt werden, die von der Versuchsperson mittelst eines Unterbrechers beherrscht wurde.

Die Versuche wurden im verdunkelten Zimmer, am häufigsten in folgenden zwei Formen ausgeführt:

1. Nachdem die Versuchsperson die vertical beleuchtete Linie bei aufrechter Kopfhaltung fixirt hatte, begann sie eine Kopfneigung zur linken oder rechten Schulter hin.

2. Die Versuchsperson nahm vor der Beleuchtung des Spaltes eine nach rechts oder links geneigte Kopfstellung ein. Die Spalte wurde dann entweder momentan durch Aufblitzen, oder während längerer Zeit beleuchtet.

Handelte es sich darum, vergleichende Vorstellungen über die Stärke der Täuschung zu erhalten, so wurde eine der folgenden Messungen vorgenommen: 1. Der Tisch mit der Kiste wurde um seine Längsachse so weit gedreht, bis die verticale Linie eine beliebig schräge Stellung einnahm. Bei aufrechter Kopfhaltung sah die Versuchsperson natürlich diese schräge, beleuchtete Linie schief gestellt. Nun drehte sie den Kopf nach derselben Seite, nach welcher die Schiefstellung geschah. Die letztere begann alsdann sich in der entgegengesetzten Richtung allmählich aufzurichten, bis sie dem Beobachter vertical erschien. Einfacher ist das zweite Verfahren: Die beleuchtete Linie blieb vertical gerichtet; die Versuchsperson führte eine Kopfdrehung aus, bis diese Linie in entgegengesetzter Richtung schiefgestellt erschien. Nun wurde der Tisch um seine Längsachse so lange nach der Seite der Kopfneigung gedreht, bis die Linie von Neuem vertical erschien, d. h. bis die Täuschung compensirt wurde.

Ganz genaue Maasse erhält man, weder mit dem einen, noch mit dem anderen Verfahren. Denselben ist daher bei Vergleichen nur relative Bedeutung beizulegen. Solche Messungen wurden zuerst unternommen, um einen eventuellen Einfluss der Stärke der Kopf-

drehung auf die Intensität der Täuschung feststellen zu können. Es zeigte sich aber gleich, dass die Aubert'sche Täuschung in dieser Richtung oft auch bei den gleichstarken Kopfdrehungen ziemlichen Schwankungen unterlag¹⁾. Es würde daher einer sehr grossen Anzahl von Versuchen bedürfen, um zuerst die Ursachen solcher Schwankungen zu eruiren. Das bot aber für meine Versuchszwecke kein unmittelbares Interesse und ich verzichtete darauf, diese Abhängigkeit näher festzustellen. In den Grenzen, in denen die drei Versuchspersonen (ich, M. und G.) die Kopfneigungen ausführten, vermochte ich nur ziemlich geringe Abweichungen zu constatiren.

Sowohl bei mir als bei M. war die Richtung der Täuschung genau dieselbe wie bei Aubert und den anderen Forschern, d. h. die Schiefstellung der verticalen Linie geschah in einer Richtung, die der Kopfneigung entgegengesetzt war. Die Täuschung äusserte sich also, was die Wahrnehmung der verticalen Linie anbetrifft, in dem gleichen Sinne wie bei allen hier mitgetheilten Versuchen mit den Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse (Abschnitte 4, 5, 9 und 10).

Was besonders interessant war, ist aber der Umstand, dass bei G. auch diese Täuschung einen anderen Charakter als bei mir und bei M. zeigte: Die Schiefstellung der verticalen Linie geschah bei G., wie in den früheren Versuchen, in der Richtung der Kopfstellung. Die Intensität der Täuschung war, auch bei den stärksten Kopfneigungen, ziemlich gering; sie schwankte zwischen 5° und 8° und war gewöhnlich etwas schwächer bei der Linksneigung des Kopfes.

Die Täuschung trat sowohl beim blossen Aufblitzen als beim Anhalten der Beleuchtung auf; bei mir war sie häufig schärfer im ersteren Falle ausgedrückt²⁾. Ob die beleuchtete Linie binocular oder monocular angesehen wurde, änderte den Sinn der Täuschung nicht. Dagegen wurde mit Hülfe der Compensation der Täuschung (siehe oben Seite 214, das zweite Verfahren) constatirt, dass die Intensität der Täuschung variierte, je nachdem die Linie binocular oder monocular angesehen wurde; dabei war sie auch verschieden, je nach der Wahl des benutzten Auges.

Der Versuch wurde folgendermaassen ausgeführt: Die bei binocu-

1) Das Auftreten der Täuschung ist selbstverständlich bei ein und derselben Person beobachtet worden.

2) Siehe darüber Näheres im Abschnitt 13.

larem Sehen bei der Kopfdrehung wahrgenommene Täuschung wurde vollkommen compensirt, bis die schiefe Linie wieder aufrecht erschien. Nun wurde das eine Auge geschlossen. Bei mir blieb die Compensation vollkommen, wenn ich das linke Auge schloss, und zwar gleichgültig, nach welcher Seite der Kopf gedreht wurde. Die Compensation nahm dagegen ab, d. h. die aufrecht gesehene Linie wurde von Neuem ein wenig schief gestellt, wenn ich das rechte Auge schloss.

Auch bei M. und G. wich für ein gewisses Auge das monoculare Sehen von dem binocularen ab. M. sah die Compensation verringert, wenn sie monocular mit dem tiefer liegenden Auge die helle Linie anschaute, also beim Sehen mit dem rechten Auge bei der Rechts- und mit dem linken bei der Linksneigung des Kopfes.

Bei G. wurde die Compensation gestört, d. h. vermindert, wenn er mit dem rechten Auge monocular sah, also das Gegentheil von meinem Falle. Nun war diese Störung bei ihm viel stärker; die verticale Linie erschien beim Schluss des linken Auges viel mehr geneigt als bei mir. Da G. sich keine Rechenschaft von der Bedeutung der vorgenommenen Compensation geben konnte, so waren seine Aussagen sicherlich ganz richtig. Beim monocularen Sehen traten übrigens mehrmals bei ihm eigenthümliche Doppelbilder auf: er sah gleichzeitig die verticale Linie sich schräg stellen und ihr Nachbild vertical. Um seine Augen zu schonen, wurden dieser Art Versuche nicht weiter wiederholt. Die Thatsache ist aber von einem gewissen Interesse für die Deutung seines eigenthümlichen Verhaltens gegenüber den Täuschungen über die verticale Richtung (siehe Seite 243).

Um bei den Beobachtungen über diese Täuschungen die verticale Linie schärfer hervortreten zu lassen, brachte ich kleine runde Oeffnungen in senkrechter Richtung zur verticalen Spalte neben derselben an und zwar zwei oben rechts und zwei unten links. Da die oberen Löcher zu den unteren parallel waren, so sah man sie mit der verticalen Linie bei der Täuschung sich nach der entsprechenden Seite neigen. Mit anderen Worten, man sah gleichzeitig auch die horizontale Richtung schief.

Von grösserem Interesse war es, zu eruiiren, ob die Aubert'sche Täuschung aufzutreten pflegt, wenn die zur Spalte schräge Kopfstellung nicht durch die Neigung des Kopfes um 90° , sondern durch eine Schrägstellung des Gesamtkörpers herbeigeführt wird, wobei

also das Verhältniss des Kopfes zum Rumpfe unverändert bleibt. Die zu lösende Aufgabe bestand mit anderen Worten darin, festzustellen; ob beim Auftreten der Aubert'schen Täuschung das Entscheidende in der Neigung des Kopfes zum Rumpfe oder nur in der Schiefstellung des Kopfes zur hellen Linie liegt¹⁾.

Die im Eingange des sechsten Abschnitts gemachten Erörterungen über die wahre Bedeutung der Kopfdrehungen bei der Beurtheilung der Richtungen sollen hier ins Gedächtniss gebracht werden, um jedes Missverständniss über die Bedeutung, die ich dieser Aufgabe zuschreibe, zu vermeiden.

Schon bei den ersten Versuchen ist es mir mehrmals aufgefallen, dass eine schräge Stellung des Kopfes, erzeugt allein durch die Schrägstellung des Gesamtkörpers, etwas geringere Abweichungen der Verticalen erzeugte, die nur wenig über 5 oder 7 Grad hinausgingen. Durch diese Erfahrung ist das Verfahren angegeben worden, das bei der Prüfung der hier uns interessirenden Frage, zu verwenden ist.

Die Versuchsanordnung war folgende: Sämmtliche eben beschriebenen Versuche über das Aubert'sche Phänomen wurden in meinem Schlafzimmer ausgeführt, wobei der Tisch mit der dunklen Holzkiste nahe an mein Krankenlager aufgestellt war. Ich nahm nun auf letzterem folgende Lage ein: Ich legte mich quer über das Bett auf die linke Seite in der Weise, dass mein Kopf ausserhalb des Bettes gerade der Längsspalte der Kiste gegenüber sich befand. Die Längsachse meines Gesamtkörpers befand sich also senkrecht zu dieser verticalen Spalte. Mein auf der linken Seite gestützter Kopf entsprach dabei genau der Lage, die er bei den Versuchen über die Aubert'sche Täuschung einzunehmen hatte, wenn ich das Maximum der Schiefstellung erzeugen wollte. Die Querachse des Kopfes war dabei genau vertical gestellt.

In dieser Lage beobachtete ich entweder gar keine oder nur eine ganz geringe Schiefstellung der hellen Linie; die Täuschung blieb also sehr geringfügig. Es genügte aber, den Kopf etwas gegen die linke Schulter zu neigen: sofort nahm die beleuchtete verticale Linie die gewöhnliche schräge Stellung ein.

Darauf machte ich folgenden Versuch: Ich brachte den Kopf in

1) Mit anderen Worten, ob, bei unbeweglichem Kopfe und Neigung der Netzhaut allein um 90°, diese Täuschung dennoch auftritt.

die frühere Stellung, d. h. in die Ebene des Rumpfes zurück, und, als die beleuchtete Linie wieder vertical erschien, führte ich, ohne die Kopfstellung zu ändern, den Körper aus der queren Lage in die Längslage über, nachdem ich mich auf den Rücken gelegt hatte. Das heisst, ich gab dem Rumpfe eine senkrechte Stellung zur Längsachse des Kopfes. Schon während dieser Bewegung fing die beleuchtete verticale Linie an, sich von Neuem nach rechts zu neigen und behielt dann diese schräge Richtung, solange die entsprechende Lagerung des Körpers beibehalten wurde.

An M. und G. nach derselben Anordnung angestellte Versuche ergaben identische Erscheinungen: kaum merkbare oder gar keine Schiefstellung der beleuchteten verticalen Linie, wenn die Längsachsen des Kopfes und des Rumpfes eine gerade Linie bildeten, trotzdem der Kopf dabei schief um einen Winkel von genau 90° zu der verticalen Linie geneigt war. Dagegen sofortiges Auftreten der Täuschung, d. h. des Schieferscheins dieser Linie bei unbeweglich bleibendem Kopfe, sobald der Rumpf in der beschriebenen Weise bewegt wurde, bis seine Längsachse senkrecht auf die Kopfachse zu liegen kam¹⁾. Dies galt bei der Lage des Kopfes sowohl auf der linken als auf der rechten Seite, — wenn nur der Rumpf die Lageveränderung ausführte.

Es folgt also aus diesen Versuchen, dass die Aubert'sche Täuschung nicht auftritt, auch wenn der Kopf um 90° zur verticalen Linie geneigt ist, in den Fällen, wo diese Neigung durch die Lagerung des Gesamtkörpers erzielt wird; dass es aber auch bei unbeweglichem Kopfe erscheint, wenn der Rumpf zum Kopfe geneigt wird²⁾.

Die Bedeutung dieser thatsächlichen Ergebnisse für den allgemeinen Mechanismus der Täuschungen wird ausführlich im Ab-

1) Wird der Rumpf vor der Ausführung der Bewegung nur einfach aus der Seitenlage in die Rückenlage gebracht, so erscheint die verticale Linie etwas nach rechts geneigt bei Rechtsneigung des Kopfes.

2) Aubert selbst scheint bei der Ausführung eines ähnlichen Versuchs mit der Lagerung des Gesamtkörpers auf einem horizontal gelegten Brett doch die Täuschung beobachtet zu haben. War der Kopf dabei nicht stärker geneigt gewesen, d. h. in der Richtung der Schulter? Dies scheint mir unvermeidlich, wenn der Kopf auf demselben Brette lag wie der Körper, ohne von einem Kissen gestützt zu sein.

schnitt 13 besprochen. Hier soll nur hervorgehoben werden, dass die Annahme, es handle sich bei dem Aubert'schen Phänomen um eine Bewegungstäuschung, wie sie z. B. Helmholtz noch in der zweiten Auflage seiner physiologischen Optik (12, Seite 763) machte, kaum noch haltbar sei. Wenn aber dem so ist, so kann selbe auch nicht auf einer Ueberschätzung oder Unterschätzung der vom Kopfe ausgeführten Bewegung beruhen.

Beruht dieses Phänomen überhaupt nur auf einer optischen Täuschung? Dieser Ansicht schien schon die einfache Thatsache zu widersprechen, dass, wenn man auf der Netzhaut das Nachbild einer verticalen Linie erzeugt und dann den Kopf wie im Aubert'schen Versuch nach rechts oder links neigt, dieses Nachbild sich in derselben Richtung neigt wie der Kopf, und nicht in der entgegengesetzten.

Auch diese Thatsache war schon früheren Forschern bekannt. Helmholtz beschreibt sie folgendermaassen:

... „Wir haben es hierbei nicht zu thun mit einer wirklichen Drehung des Auges im Kopfe, wie man sich mit Hülfe von Nachbildern überzeugen kann. Ein im verticalen Meridian des Auges entwickeltes Nachbild scheint bei einer Drehung des Kopfes um einen rechten Winkel nach rechts, im dunkeln Zimmer nicht horizontal zu liegen, wie es wirklich liegt, sondern schräg von links unten nach rechts oben, und eine objective helle Linie, welche wirklich diese letztere Neigung hat, erscheint vertical. Die Täuschung beruht vielmehr darauf, dass wir im Dunkeln die Seitenneigung unseres Kopfes für kleiner halten, als sie wirklich ist.“

Das vermeintliche Nachbleiben des Nachbildes, von dem Helmholtz spricht, beruht auf einem Irrthum, wie dies schon Mulder (13) und A. hervorgehoben hat.¹ Weit davon entfernt, die Neigung unseres Kopfes zu unterschätzen, wie dies Helmholtz vermuthete, überschätzen wir dieselbe. Daher scheint uns eben das Nachbild zurückzubleiben. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man während der Kopfneigung die Versuchsperson mit den Fingern die Ebene bezeichnen lässt, in der sie das Nachbild sieht: Diese Ebene entspricht der Medianebene des Kopfes; sie ist fast horizontal bei Neigung des Kopfes um 90°.

Die Richtung, in welcher sich das Nachbild bewegt, ist also ganz entgegengesetzt derjenigen, in welcher die beleuchtete Linie im dunkeln Raume bei der Aubert'schen Täuschung sich schiefstellt. Die beiden Erscheinungen können also kaum von derselben Ursache abhängig sein.

Aubert hat gelehrt, wie man sich von diesem Gegensatz der Richtungen leicht überzeugen könne:

„Bei aufrechter Stellung im übrigens absolut finsternen Zimmer, erzeuge ich mir ein Nachbild von einer langen verticalen Gasflamme; lösche dann die Flamme aus, neige Kopf oder Körper oder beide bis zur horizontalen und blicke nach der hellen verticalen Linie: Das Nachbild erscheint nahezu horizontal, die helle Linie entgegengesetzt der Kopfneigung um 45° gedreht“ (11, S. 36).

Aubert hat diesen Versuch angestellt bei Gelegenheit seiner Bemühungen, die von Yves Delage gegebene Erklärung dieses Gegensatzes zu prüfen, er gesteht aber, „eine wirkliche Erklärung in den Worten Delage's nicht finden“ zu können. Er gesteht aber auch gleichzeitig, ausser Stande zu sein, eine andere Erklärung dieses Gegensatzes zu geben. Im Abschnitt 13 soll auf Grundlage der evidenten Analogien, die zwischen dem Aubert'schen Phänomen und den von mir untersuchten Täuschungen, eine neue Erklärung des Gegensatzes zwischen der Wahrnehmung des Nachbildes und der der hellen Linie versucht werden (siehe S. 104).

Aus den Versuchen über die Aubert'sche Täuschung sollen noch einige Einzelheiten hier erwähnt werden. Wie schon gesagt, sah G. die Schiefstellung der hellen verticalen Linie in derselben Richtung wie die Kopfneigung. Das Nachbild bewegte sich bei ihm ebenfalls in derselben Richtung. Der Gegensatz in den Richtungen, von dem soeben die Rede war, kam also bei G. nicht zum Vorschein¹⁾.

G. hatte auch nicht die Empfindung, dass das Nachbild bei Neigung des Kopfes, der letzteren nicht genau nachfolge. Dasselbe erscheint ihm im Gegentheil ebenso stark geneigt zu sein wie der Kopf selbst.

Die oben in Abschnitt 8 mitgetheilten Beobachtungen über den Einfluss der Erregungen des Ohrlabyrinths durch Schallwellen auf die Richtungstäuschungen machten es wünschenswerth, zu prüfen, ob die nämlichen Erregungen auch die Intensität der Aubert'schen Täuschung irgendwie zu beeinflussen im Stande sein werden.

Die betreffenden Versuche haben bei M. eine sehr merkliche Verstärkung der Täuschung nach ein paar Stunden Clavierspiels ergeben: Die Schiefstellung war von etwa 5° , bei beiden Drehungen auf $11-12^\circ$ bei der Links- und auf $10,5^\circ$ und $8,5^\circ$, bei der Rechtsdrehung, gestiegen.

1) Das Nachbild wurde durch das längere Fixiren eines dunkeln Fensterkreuzes erzeugt.

Bei G. waren die Unterschiede viel geringer und überschritten nicht 2° — 3° . Wie schon oben gesagt, erschien bei ihm die Schiefstellung in derselben Richtung wie die Kopfneigung und war immer sehr gering (7° und 5°), auch bei den stärksten Neigungen.

Unter solchen Umständen war die gesagte Differenz zu gering, um irgend welche Schlüsse zu gestatten, dies um so mehr, als ich nur eine ganz geringe Anzahl solcher Versuche anstellen konnte. Die häufigen Beobachtungen der Aubert'schen Täuschungen, unter den verschiedenen hier aufgezählten Bedingungen, begannen bei mir Schwindel, Uebelkeit und Neigung zum Erbrechen zu erzeugen; merkwürdiger Weise auch bei den Versuchen, wo ich diese Beobachtungen nicht an mir selbst anstellte, sondern nur die von M. und G. überwachte. Schon der blosse Anblick der verticalen Linie von der Seite her, wobei sie natürlich auch etwas schief erscheint, wurde mir am Ende unbehaglich. Diese Versuchsreihe musste daher plötzlich abgebrochen werden.

12. Täuschungen in der Wahrnehmung der Parallelrichtungen.

In den bis jetzt beschriebenen Versuchen handelte es sich darum, solche Täuschungen des Raumsinnes zu untersuchen, bei denen keine Vorwärtsbewegungen des Körpers stattfinden (s. oben S. 142 ff.). Die Täuschungen in der Wahrnehmung der Parallelrichtungen unterscheiden sich von den vorhergehenden darin, dass sie eben bei derartigen Platzänderungen des Gesamtkörpers beobachtet werden.

Wenn man im dunkeln Raum oder mit verbundenen Augen sich vorwärtsbewegt und, der Orientirung wegen oder zu einem anderen Zwecke, mit den ausgestreckten Händen einen Tisch oder ein anderes Möbelstück, dessen gegebene Stellung zu der Richtung der Bewegung man genau kennt, anfasst, so erhält man die Empfindung, derselbe habe seine Stellung verändert und befindet sich schräge dem Beobachter gegenüber, und zwar meistens in der Richtung von links nach rechts. Die Täuschung äussert sich also darin, dass der Tisch der transversalen Achse des Beobachters nicht mehr parallel gegenüber sich befindet, sondern mit derselben einen nach rechts spitzen Winkel bildet. Diese Täuschung tritt constant auf, mag man den Versuch noch so häufig wiederholen.

Zum ersten Mal habe ich dieselbe vor mehreren Jahren beobachtet, als ich im grossen optischen Zimmer des Berner physiologischen Instituts im Dunkeln Drehversuche an Kaninchen ausführte.

Der Tisch mit dem Centrifugalapparat stand senkrecht zur Wand, die den Fenstern gegenüber war. Kehrete ich, nachdem ich die Fensterladen geschlossen hatte, im Dunklen zum Tisch zurück, so war ich nicht wenig überrascht, den Tisch verstellt zu finden; er erschien mir gegenüber schief zu sein, wobei sein Rand meiner rechten Seite näher als meiner linken war.

Bei Beleuchtung des Zimmers überzeugte ich mich, dass keinerlei Verstellung des Tisches stattgefunden hat. Die Beobachtung mehrmals wiederholt, erneuerte dennoch die nämliche Täuschung. Die folgende Figur soll die Täuschung demonstrieren.

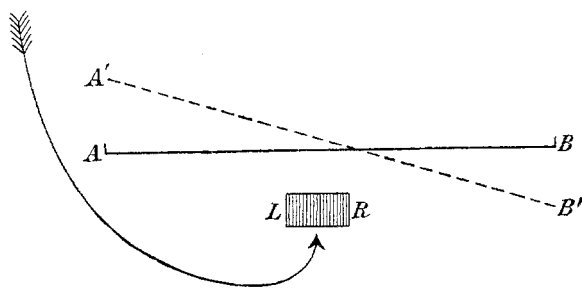


Fig. 42.

AB stellt den vorderen Rand des Tisches dar, zu dem ich in der durch den Pfeil angegebenen Richtung herankam. $L-R$ geben die Stellung meines Körpers diesem Rande gegenüber. $A'B'$ scheinbare Schrägstellung, die ich empfand als ich mit den ausgestreckten Armen den Tisch berührte.

Diese Täuschung ist noch auffallender, wenn es sich statt eines leicht beweglichen Tisches um ein schweres, unbeweglich befestigtes Möbelstück handelt, von dessen Unverrückbarkeit man fest überzeugt ist: die Täuschung äussert sich dennoch in der gegebenen Form.

Man stelle nun zwei derartige Möbelstücke senkrecht zu einander hin, wie sie die Fig. 43 zeigt.

Nachdem man sich dem Rande AB genähert und die Schrägstellung $A'B'$ wahrgenommen hat, wende man sich in der Richtung des Pfeilers zum Rand BC : man empfindet dann zu seiner Ueberraschung, dass auch dieser Rand schräg gestellt sei, und auf der rechten Seite einen spitzen Winkel zu bilden scheint. Die Täuschung besteht also hier in einer anhaltenden Empfindung, dass

beide senkrecht zu einander stehende Möbelstücke, dessen Lage man genau kannte, plötzlich schiefgestellt worden sind, und zwar so, dass sie dennoch einen rechten Winkel zu einander bilden. Man wird durch diese Täuschung trotz des besseren Wissens dennoch vollständig desorientirt.

Je mehr solche Tische, Schränke und andere Möbelstücke man so im Dunkeln bei der Vorwärtsbewegung berührt, je grösser wird

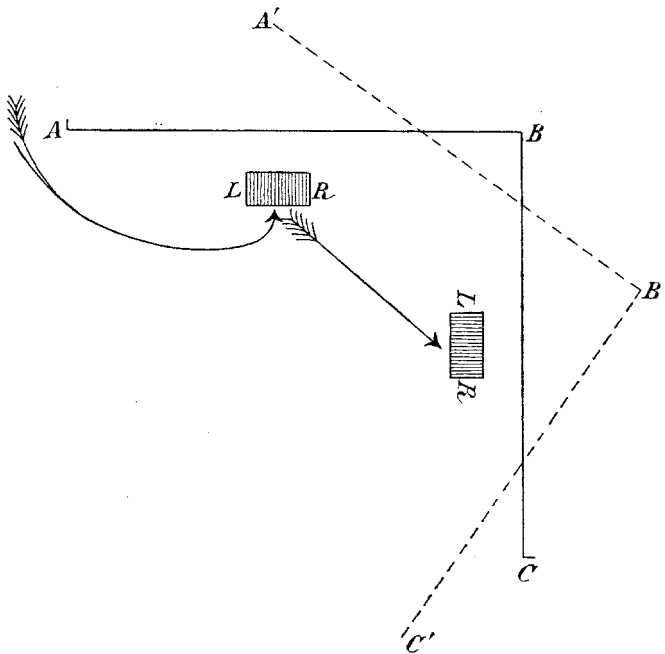


Fig. 43.

AB und BC die vorderen Ränder der beiden Möbelstücke die mit einander einen Winkel von 90° bilden. $A'B'$, $B'C'$ die empfundenen Schrägstellungen wenn $L-R$ successive sich diesen beiden Rändern in der angezeigten Weise nähert.

die Desorientirung und man kann sich sogar im eigenen Zimmer einen Augenblick vollständig verirren. Es vergingen bei mir mehrere Minuten bis ich mich unter solchen Umständen zurechtfinden konnte, besonders, wenn ich zufällig, ganz unbewusst bei der Vorwärtsbewegung eine theilweise Drehung um meine Längsachse gemacht hatte.

Was die Desorientation noch steigert, ist folgender Umstand. Die Richtung, in der man sich dem betreffenden Gegenstand nähert, übt einen ganz bestimmten Einfluss auf den Sinn der Täuschung

aus. Geht man z. B. beim Beginn der Vorwärtsbewegung in senkrechter Richtung dem Tischrande zu, so ist die Täuschung meistens ziemlich gering; der spitze Winkel wird bei den meisten Personen rechts empfunden. Beim Herannahen an den Tisch von der Seite her, d. h. in schiefer Richtung, erscheint die Spitze des Winkels rechts, wenn man von links herkommt, und links, wenn man sich von rechts nähert. Die Figur 44 demonstriert diese Täuschungen.

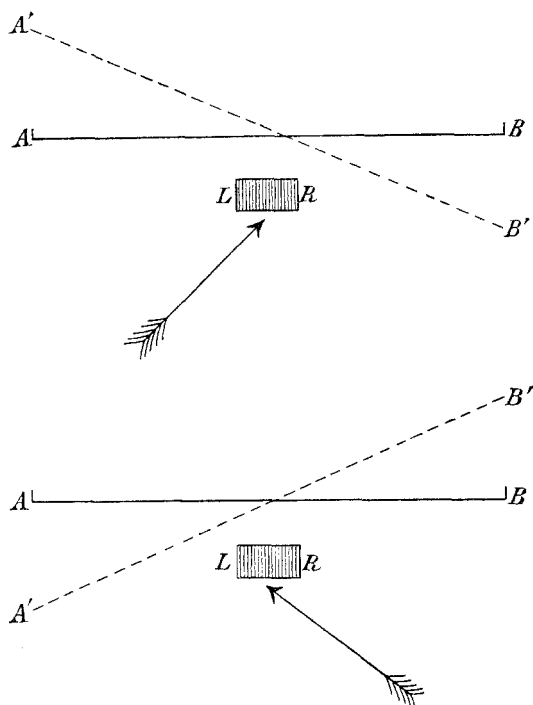


Fig. 44.

Beginnt man dagegen die Vorwärtsbewegung in einer dem zu berührenden Tischrande parallelen Richtung, und führt, vor demselben angelangt, eine Drehung um die Längsachse aus, um diesem Rande parallel zu stehen, so empfindet man den Winkel rechts, wenn die Drehung um die linke Schulter, und links, wenn dieselbe um die rechte Schulter geschah: In der Figur 45, welche diesen Versuch darstellt, sind die Körperstellungen ebenfalls in der Richtung schief gezeichnet worden, in welcher die Drehung der Schulter ausgeführt wurde.

Worauf beruhen nun diese Täuschungen in der Beurtheilung der Parallelrichtungen? Eine einfache Ueberlegung deutet darauf hin,

dass es eine schiefe Stellung des Körpers dem berührten Möbelstücke gegenüber ist, die die Täuschung veranlassen muss.

In der That, wenn man die Versuchsperson, nachdem es die Vorwärtsbewegung beendigt, plötzlich still stehen lässt und momentan das Zimmer beleuchtet, so sieht man häufig, aber nicht immer, dieselbe schief dem Tischrande gegenüber stehen; und zwar ist ihre eine Schulter diesem Rande näher gerückt (etwa wie dies in über-

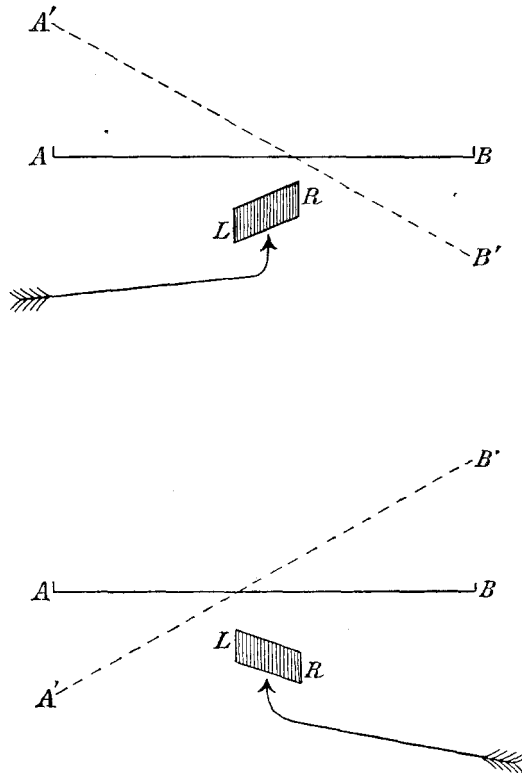


Fig. 45.

triebener Weise die Figur 45 zeigt), und zwar nach der Seite hin, wo der spitze Winkel empfunden wird. Da nun die Versuchsperson die Ueberzeugung hat, genau parallel dem Tischrande gegenüber zu stehen, so empfindet sie letzteren nicht in seiner wirklichen Richtung, sondern schief zu der transversalen Ebene seines eigenen Körpers, also unter einem mehr oder weniger ausgesprochenen spitzen Winkel.

Versuchspersonen, welche sich von der Winkelstellung nicht Rechenschaft geben können, sagen aus, der eine Arm ihnen mehr ausgestreckt zu sein scheint als der andere, was im Grunde auf dasselbe hinauskommt.

Diese Erklärung der Täuschung ist aber weder erschöpfend, noch immer zutreffend. Man beobachtet bei der plötzlichen Beleuchtung des Zimmers auch oft Fälle, wo die Versuchsperson sich ganz gerade gegenüber dem Tischrande befand und auch die beiden Arme gleich weit nach vorne gestreckt sind, und die Täuschung der Schiefstellung des Tisches, wenn auch in geringerer Form, besteht dennoch.

Man mache folgenden Versuch: man halte die Versuchsperson, mit den zugebundenen Augen, ein paar Schritte, ehe sie dem Tischrande sich genähert hat, an, und wenn ihr Rumpf nicht genau parallel demselben gegenübersteht, ertheile man der nach vorwärts geneigten Schulter eine kleine Drehung nach hinten, um sie in dieselbe Ebene mit der anderen zu stellen. Lässt man dann die Person den Tisch berühren, so tritt die Täuschung dennoch auf. Man kann sie nur zum Schwinden bringen, wenn man die Schulterdrehung so gross ausgeführt hat, dass diese Schulter sichtbar mehr nach rückwärts zu stehen kommt als die früher zurückgebliebene; in diesem Falle ist also der entgegengesetzte Arm derjenige, der beim Betasten mehr nach vorne ausgestreckt wird.

Geht man in senkrechter Richtung dem Tischrande zu (im dunklen Raume und mit zugebundenen Augen), so weicht man gewöhnlich etwas nach rechts von dieser geraden Richtung ab. Linkshänder weichen im Gegentheile häufiger nach links ab. Die Täuschung des Schiefstehens des Tisches tritt meistens auch in diesem Falle ein; nur empfinden linkshändige Personen den spitzen Winkel meistens links, und nicht wie dieses in den obigen Figuren dargestellt ist. Dies kommt aber bei Letzteren nur dann vor, wenn sie, beim Vorwärtsgen, die linke Schulter nebst Arm zu weit vorgeschoben haben. Hält man sie vor dem Berühren des Tisches an und gleicht die Schulterstellungen aus, so äussert sich auch beim Linkshänder die Täuschung rechts.

Diese Umwandlung der Täuschung von links nach rechts ist beim Linkshänder noch deutlicher hervorzurufen, wenn er vor dem Berühren des Tisches eine Drehung seines Körpers um seine Längsachse auszuführen haben, wie in der Figur 45. Meistens schieben

sie dann die linke Körperhälfte zu stark nach vorne vor und empfinden die Schiefstellung anders, als es in der Figur 45 dargestellt ist.

Mit einem Worte, in allen solchen Versuchen überzeugt man sich, dass die schiefe Körperstellung und die daraus folgende weitere Ausstreckung des einen Armes allein nicht genügt, um die Täuschung zu veranlassen. Es gehört dazu noch ein anderes Moment: dieses ist die Kopfstellung.

Wenn wir nämlich, bevor das Zimmer verdunkelt wird, oder nachdem dies schon geschah, uns zu dem gewählten Möbelstücke zu bewegen beginnen, nehmen wir eine bestimmte Kopf- und Körperstellung ein, die uns zu dem Ziele hinführen soll. Wir haben also im Kopfe, aus vorherigem Anschauen oder aus der Erinnerung, eine genaue Vorstellung von der Stellung des Tisches z. B. und der Stellung, die wir selbst einnehmen müssen, um demselben gegenüber eine parallele Haltung einzunehmen. Bei der Vorwärtsbewegung weichen wir aber ein wenig von der eingeschlagenen Richtung ab und, am Tischrande angelangt, stehen wir meistens demselben etwas schief gegenüber. Wir glauben aber die in unserem Kopfe festgesetzte parallele Stellung einzunehmen. Unsere Tastempfindungen zeigen nun, dass der Tisch uns nicht parallel ist: wir schliessen, derselbe sei verschoben. Hat man aber vorher die Rumpfstellung corrigirt, oder ist derselbe überhaupt nicht merklich schief gestellt gewesen, so unterliegen wir dennoch der Täuschung, wenn auch in geringerem Grade, und dies, weil für uns die richtige Stellung des Tischrandes diejenige bleibt, welche unserer Kopfstellung entspricht, da wir nur diese als die richtige kennen. Da aber der Kopf beim Vorwärtsgehen verstellt wurde, so schreiben wir diese Verstellung dem Tische zu.

Am evidentesten überzeugt man sich davon, wenn man selbst die Schulterhaltung so weit corrigirt, dass der Rumpf dem Tischrande parallel wird, was man leicht dadurch erzielt, dass man die beiden Arme gleich weit ausstreckt¹⁾: Auch in diesem Falle können wir uns der Täuschung nicht entledigen,

1) Die Täuschung kann ebenso gut durch die Berührung eines Möbelstücks, z. B. eines Bettrandes, mit den Knien erzeugt werden.

der Tisch sei schief gestellt, d. h. habe seine frühere Stellung verlassen. Die bessere Ueberzeugung, dass dem nicht so ist, erweist sich ganz machtlos der einmal erhaltenen Empfindung des Nichtparallelismus gegenüber¹⁾.

In dieser Thatsache nämlich, dass wir eine specielle Empfindung des Parallelismus in einem Organe unseres Kopfes besitzen, liegt eben das grosse Interesse dieser Täuschungsversuche.

Auf Grundlage dieser, mir schon seit mehreren Jahren geläufigen Thatsache habe ich eben in meiner letzten Untersuchung über die physiologischen Grundlagen der Geometrie von Euklid mit solcher Bestimmtheit behauptet: das beziehende XI. Axiom Euklid's beruhe auf einer von den Empfindungen unseres Ohrlabyrinths ausgehenden Wahrnehmung (7, Cap. 5).

Vor einer nochmaligen Nachprüfung dieser Versuche an mehreren Personen wollte ich vor zwei Jahren diese Thatsache nicht verwerthen, sondern begnügte mich, eine Anzahl indirecter Argumente zu Gunsten dieser Behauptung anzuführen.

Von welchem Bogengangpaare mag nun die Empfindung des Parallelismus abhängen? Die horizontalen Bogengänge sind beiderseits in derselben Ebene gelagert; dagegen liefen sowohl die verticalen (hinteren), als die sagittalen (vorderen) Bogengänge in Ebenen, die nicht zu einander parallel sind. Die Ebenen der hinteren verticalen Bogengänge, wenn man sie nach vorne verlängert, treffen etwa in der Mitte der Sattelhöhle zusammen; die Ebenen der beiden sagittalen Canäle würden sich bei der Verlängerung nach hinten ein wenig oberhalb der Foramen occipitale kreuzen²⁾.

Dagegen ist die Ebene des sagittalen Bogenganges der einen Seite genau der Ebene des verticalen der anderen Seite parallel. Auf diese interessante Thatsache hat, wenn ich nicht irre, zuerst Crum Brown die Aufmerksamkeit gelenkt. Nach ihm hat besonders Breuer diesen auffälligen Parallelismus bei Tauben beschrieben.

1) Wenn die Täuschung durch mehrmaliges Wiederholen etwas abgestumpft wird, so genügt es, sich im Dunkeln ein paar Mal in der einen oder der anderen Richtung oder, noch besser, successive in den beiden Richtungen umzudrehen, um dieselbe bei einem neuen Versuch ebenso lebhaft, oft sogar noch lebhafter zu empfinden.

2) Siehe in nächsten Abschnitt S. 234 und auch die Abhandlung 14.

Er wollte sogar auf Grund desselben den rechten Verticalen mit dem linken Sagittalen, und den linken Verticalen mit dem rechten Sagittalen als Paare gleichfunctionirender Bogengänge betrachten. Schon im Jahre 1878 habe ich gezeigt, dass eine solche Gruppierung der Bogengänge schon darum unzulässig sei, weil die Durchschneidungen und Erregungen der beiden verticalen Canäle genau dieselben Erscheinungen in den Bewegungsstörungen und in der Unmöglichkeit, gewisse Richtungen einzuhalten, erzeugen.

Wie ich bei Messungen an den, von Herrn Tramond für mich an einem Menschenschädel, sehr sorgfältig herauspräparirten Bogengängen, die dabei *in situ* gelassen wurden, constatiren konnte, ist der Parallelismus des sagittalen Canals der einen Seite mit dem verticalen der anderen wirklich ein sehr vollkommener. Er ist beim Menschen noch viel ausgesprochener als beim Kaninchen oder bei der Taube. Wenn ein solcher Parallelismus ihrer Ebenen auch nicht im Geringsten für die physiologische Gleichwerthigkeit der entsprechenden Bogengänge zeugt, so steht dagegen nichts im Wege, in diesem Parallelismus die Ursache unserer Empfindungen der parallelen Richtungen zu erblicken. Identische Reize, die gleichzeitig die Nervenenden des rechten sagittalen und des linken verticalen Bogengangs erregen, können sehr gut die Empfindung des Parallelismus erzeugen.

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Täuschungen in der parallelen Richtung entstehen bei der Vorwärtsbewegung des Kopfes; die Täuschungen rühren also in erster Linie von den sagittalen Bogengängen her.

Nun habe ich schon im Jahre 1878 gezeigt, dass die von dem einen sagittalen Bogengang herrührenden Vorwärtsbewegungen des Kopfes in einer schiefen, diagonalen Richtung verlaufen¹⁾. Dies drängt daher zur Annahme, dass in den betreffenden Versuchen das Abweichen des Kopfes (und auch des Rumpfes) beim Vorwärtsgen im Dunkeln von einer solchen einseitigen Erregung eines sagittalen Bogenganges²⁾ herrühre. Bei dem ebenfalls in derselben schiefen Ebene stattfindenden Verlaufe des anderseitigen verticalen Canals kann also

1) Siehe auch die Arbeit 14.

2) Oder richtiger von dem Ueberwiegen der Erregung des einen Bogenganges.

schon leicht eine simultane Erregung des letzteren stattfinden, und so die Entscheidung des Parallelismus zusammenhängen.

13. Deutung der in dieser Untersuchung beschriebenen Täuschungen.

Es soll hier davon Abstand genommen werden, die grosse Fülle der in den vorhergehenden Abschnitten mitgetheilten Beobachtungen und Versuchsergebnisse in Kürze zusammenzustellen. Die wichtigsten Thatsachen sind ihrer Bedeutung nach schon meistens am Schlusse der Abschnitte gewürdigt worden¹⁾. Aber manche Versuchsergebnisse bedürfen noch der Bestätigung und Präcisirung durch neue Untersuchungen, und wäre es voreilig, dieselben schon jetzt, als in allen Einzelheiten für die Deutung verwerthbar, hinzustellen.

Ich muss mich darauf beschränken, die wichtigeren und allgemeinen Sätze hier wiederzugeben, soweit sie mit Sicherheit aus der Gesamtheit der mitgetheilten Ergebnisse sich ableiten lassen:

1. Die bei Drehungen des Kopfes, im dunkeln Raume entstehende, constante Richtungstäuschung, hängt von der Verstellung der Ebenen der drei Bogen-gangpaare ab. Kopfdrehungen, die gar keine, oder nur ganz geringe Verstellungen dieser Ebenen erzeugen, haben keine bestimmte, gesetzmässig auftretende Täuschung zur Folge. Die mit grösster Constanz erscheinende Richtungstäuschung äussert sich daher bei Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse (Abschnitt 4).

Drehungen um die verticale Achse verhindern meistens nicht die richtige Wahrnehmung der verticalen Richtung; solche um die transversale thun dies nur in sehr geringem Grade (Abschnitt 5).

2. Täuschungen in der horizontalen Richtung treten bei den Drehungen des Kopfes am häufigsten auf; darauf folgen, der Häufigkeit nach, Täuschungen in der verticalen Richtung, am geringsten sind die der sagittalen Richtung.

1) Ein solches kurzes Résumé ist übrigens schon von mir in der vorläufigen Mittheilung dieser Versuche gegeben worden (4).

3. Für den Sinn der Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen ist das Moment, welches diese Wahrnehmungen erzeugt, — oder, mit anderen Worten, die Natur des Reizes, der dieselben veranlasst — ganz gleichgültig: Der Willensreiz¹⁾, der Lichtreiz²⁾, die Schallreize³⁾, die pulsatorischen Druckschwankungen in innerem Ohr⁴⁾ erzeugen, bei identischen Verstellungen der Bogengangebenden, dem Sinne nach identische Täuschungen.

4. Die Intensität der Richtungstäuschungen scheint ganz unabhängig von der Natur dieser Reize zu sein; sie wird sicher beeinflusst durch die Stärke der Verstellung der Bogengangebenden, also durch die Winkelgrösse der Kopfdrehungen. In den weitesten Grenzen variiert diese Intensität bei vorheriger starker Erregung des Ohrlabyrinths durch Musik, besonders bei Personen mit sehr erregbarem Hörapparat (Abschnitt 8).

5. Die Richtung der Blicklinie vermag den Sinn der Richtungstäuschungen nicht zu beeinflussen; dagegen vermag sie, unter gewissen Umständen, deren Intensität zu verändern.

6. Die Thatsache, dass Schallerregungen des Ohrlabyrinths die Richtungstäuschungen evident zu verstärken im Stande seien, bestätigt die früher schon, mehrmals, von mir vertretene Ansicht, der normale Erreger der Nervenenden der Bogengänge sei in den Schallwellen zu suchen.

Mit diesen aus den Versuchen über die Richtungstäuschungen abgeleiteten fünf Schlussätzen ist die Hauptaufgabe der von mir unternommenen Untersuchung gelöst worden, — nämlich, durch Versuche am Menschen die Rolle des Ohrlabyrinths, als Sitzes des Raumsinns zu demonstrieren.

Bleibt die minder wichtige, aber an sich noch interessante Frage über die Art, wie die Richtungstäuschungen zu Stande kommen, zu be-

1) Abschnitt 4, 5 und 6.

2) Abschnitt 11.

3) Abschnitt 9.

4) Abschnitt 10.

antworten. Wie bei allen Sinnestäuschungen ist auch hier die Erklärung des intimen Mechanismus mit grossen Schwierigkeiten verbunden¹⁾.

Es handelt sich dabei um Vorgänge, die tief in die psychologischen Functionen eingreifen; jede vorgeschlagene Deutung kann daher nur einen temporären Werth beanspruchen. Die Sinnesorgane sind die einzigen Pforten, durch welche die präzise physiologische Forschung in das psychische Leben einzudringen vermag. Bis jetzt ist der Physiologenur an deren Schwelle angelangt. Die Einblicke, die er in das Innere der psychologischen Vorgänge gewinnen kann, sind noch zu unsicher, um präzise Aufschlüsse zu gestatten.

Die Erklärungen des Mechanismus der Richtungstäuschungen, welche ich hier kurz andeuten werde, machen daher nicht den Anspruch, erschöpfend oder definitiv zu sein. Sie sollen eher die Bahnen anzeigen, welche die weiteren Forschungen über die Richtungstäuschungen werden einzuschlagen haben, um zu einer vollgültigen Aufklärung zu gelangen.

Die Thatsache steht fest, dass diese Täuschungen auf Verstellungen der Bogengangebenen beruhen. Die Drehungen des Kopfes um seine Achsen könnten nur auf doppeltem Wege unsere Wahrnehmungen verwirren, entweder durch Verstellungen der Augenachsen oder der Bogengangebenen. Dies hat schon Yves Delage in seiner mehrmals citirten Untersuchung ganz klar und überzeugend dargelegt.

Wir haben gesehen, dass die Verstellungen der Augenachsen in den von uns angestellten Versuchen zwar sichtlich eine Wirkung auf die Intensität der Täuschungen auszuüben vermögen, der Sinn der Richtungstäuschungen bleibt aber von den Augenstellungen unbeeinflusst.

Wenn wir bis jetzt nur von Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen bei Drehungen des Kopfes um seine Achsen gesprochen haben, so sollte diese Bezeichnung nur die groben, sichtbaren Versuchsbedingungen andeuten, ohne irgendwie den Versuchsdeutungen vorzugreifen. Für uns bestand nicht der leiseste Zweifel, dass in der Wirklichkeit nur die Drehungen der Bogengangebenen in Betracht kommen. In diesem Sinne sind auch die Betrachtungen über die Verknüpfungen der Drehungen des Kopfes mit gewissen,

1) Mit Ausnahme der Täuschungen der Parallelrichtungen, von denen im Abschnitt 12 die Rede war.

von dem Ohrlabyrinth herrührenden Richtungsempfindungen, die im Abschnitt 7 (S. 186) angestellt wurden, aufzufassen.

Bei dem Versuche, den näheren Mechanismus der Richtungstäuschungen aufzuklären, bestand also die erste Aufgabe darin, festzustellen, welche Verstellungen der Bogengangebenden bestimmten Drehungen des Kopfes um seine Achsen entsprechen. Darauf durfte die Discussion folgen, inwieweit solche Verstellungen die erzielten Versuchsergebnisse zu erklären vermögen.

Wie schon erwähnt, studirte ich an Schädeln, in denen beiderseits die Ohrlabyrinth in situ sorgfältig herauspräparirt waren, die Verhältnisse der Bogengangebenden zu einander¹⁾. Der eine dieser Schädel wurde durch ein passendes Kugelgelenk, das an der Foramen occipitale angebracht war, derart mit einem feststehenden Stativ verbunden, dass man den Schädel um seine drei Achsen beliebig zu drehen und in jeder gewählten Stellung zu fixiren vermochte. Bei abgehobenem Schädeldach waren die Verstellungen der Bogengänge leicht zu studiren. Mehrere Modelle, ebenfalls von Herrn Tramond künstlerisch hergestellt, welche die Ohrlabyrinth in bedeutend vergrössertem Maassstabe zeigten, erlaubten es, die gegebenen Lagen der Bogengänge mit grosser Genauigkeit festzustellen.

Auch habe ich selbst mehrere Modelle von drei senkrecht zu einander stehenden Ebenen, denen möglichst genau die Halbkirkelform gegeben wurde, aus festem Carton zubereitet, und mit metallischen Achsen versehen. Solche Modelle erwiesen sich bei diesen Studien sehr nützlich.

Ich wurde leider durch meinen Gesundheitszustand verhindert, meinen diesbezüglichen Messungen und Studien die erwünschte Ausdehnung zu geben²⁾. Namentlich war es mir nicht gegönnt, meine Absicht zu erreichen, diese Studien auf eine Feststellung der Beziehungen der Bogengangebenden zu den Meridianen des Auges auszudehnen. Ich erhielt aber genügende Aufschlüsse, um die oben gestellte Aufgabe, in den allgemeinen Zügen wenigstens, lösen zu können.

1) Siehe Abschnitt 12, S. 229.

2) Sämmtliche Schädelpräparate und Modelle werde ich gerne einem competenten Collegen zur Verfügung stellen, der sich mit diesen Studien befassen und namentlich die Beziehungen der Ebenen der Bogengänge zu den Augenachsen genauer feststellen möchte.

Parallel zu einander sind die Ebenen der horizontalen Bogengänge, sowie die Ebene des verticalen Canals der einen Seite zur Ebene des sagittalen Kanals der anderen Seite.

Was nun die Ebenen der horizontalen Bogengänge anbetrifft, so sind sie bekanntlich ein wenig nach hinten geneigt. Genau horizontal gestellt sind sie nur bei einer gewissen Kopfhaltung, bei der das Kinn etwas nach unten und das Occiput eine Spur nach oben gerichtet ist. Diese Stellung entspricht der gewöhnlichen aufrechten Haltung, die wir dem Kopfe erteilen, wenn wir die Blicklinie in genau horizontaler Ebene vor uns richten.

Die Stellung des Ohrlabyrinths, bei welcher die Ebenen der horizontalen Bogengänge genau horizontal zu liegen kommen, — möchte ich als die primäre bezeichnen.

Wenn in einem System von drei zu einander senkrechten Ebenen die eine horizontal gerichtet ist, so müssen die beiden anderen Ebenen vertical stehen. Dies ist auch bei den Bogengängen der Fall. Der Anatome, welcher zuerst die hinteren und vorderen Bogengänge als Verticale benannt hatte, fasste dabei sicherlich diese Eigenschaft der drei senkrecht zu einander stehenden Ebenen in's Auge.

Dreht man nun den Schädel um seine sagittale Achse nach rechts oder nach links, und will man dabei die entsprechenden Stellungen der horizontalen und der (hinteren) verticalen Bogengänge feststellen, — um die Versuche der Abschnitte 4 nachzuahmen, — so stösst man sofort auf folgende Schwierigkeit: Wie im vorigen Abschnitt auseinandergesetzt wurde, sind die Ebenen der beiden verticalen Bogengänge nicht zu einander parallel, sondern schneiden sich bei ihrer Verlängerung nach vorne um einen Winkel von nahezu 90°. Bei der Drehung des Schädels um die sagittale Achse, z. B. nach links, um 90° werden die beiden Ebenen nicht identisch horizontal gestellt: die Ebene des linken Bogengangs erscheint ein wenig von vorne nach hinten, die des rechten von hinten nach vorne geneigt; die Neigungen zur Seite, d. h. von rechts nach links sind analog bei beiden Bogengängen.

Nach den Erfahrungen, die wir in den Versuchen der Abschnitte 10 und 11 gemacht haben, lässt sich aber bei unseren Betrachtungen diese Schwierigkeit in folgender Weise umgehen: Bei

den Drehungen des Kopfes zur linken Schulter sind für die Bestimmung der Schallwellenrichtung die Empfindungen des rechten Ohres allein maassgebend; im Gegentheil, die des linken Ohres bei der Neigung des Kopfes nach rechts. Der Grund ist auch leicht verständlich. Wir geben unserem Kopfe die entsprechenden Stellungen nach links oder nach rechts in den Fällen, wo uns Schallreize von oben links oder von oben rechts zugeleitet werden, und zwar, damit in diesen Stellungen unser rechtes, resp. linkes Trommelfell in die günstigste Lage kommt, um von den Schallwellen getroffen zu werden. Zu dem nach unten gerichteten linken, resp. rechten Gehörorgan werden die Schallwellen gegenseitig durch die Knochenleitung zugeführt¹⁾. Mit einem Worte: bei der Linksdrehung des Kopfes kommt für die Bestimmung der Schallrichtung nur das rechte Ohrlabyrinth, bei der Rechtsdrehung nur das linke in Betracht. Dies ist ja der Grund der in den Abschnitten 10 und 11 beobachteten Täuschungen bei der Wahrnehmung der Töne der Stimmgabel resp. der entotischen Geräusche.

Wir sind also berechtigt, bei der Drehung des Schädels um seine sagittale Achse nach links nur die Vorstellung des rechten verticalen (hinteren) Bogenganges, bei der Drehung nach rechts nur die des linken zu berücksichtigen.

Vergleichen wir nun die Ebenen der horizontalen und entsprechenden verticalen Canäle bei solchen Drehungen mit den Richtungen, die wir in den Fig. 1—4 und 6—7²⁾ erhalten haben, so finden wir, dass dem Sinne nach diese Ebenen den durch die gezeichneten Linien angegebenen Richtungen entgegengesetzt geneigt sind; d. h. bei der Linksdrehung z. B. ist die Ebene der horizontalen Bogengänge nicht, wie die Linie *LH*, von oben links nach unten rechts, sondern von oben rechts nach unten links geneigt; und umgekehrt, bei der Rechtsdrehung. Die Ebene des rechten verticalen Bogenganges ist dabei von oben links nach unten rechts und

1) Nach den im Laboratorium von Exner ausgeführten Versuchen vorzüglich durch die Leitung des Os occipitale.

2) Wie schon oben erwähnt, geben diese letzteren Figuren die stattgehabten Neigungen etwas geringer an.

nicht, wie die Linien LV , von oben rechts nach unten links geneigt¹⁾).

Mit anderen Worten: Die Neigungen der Ebenen der Bogengänge scheinen entgegengesetzt den Richtungen der Täuschungen zu sein, wie dies ja schon in den obigen Versuchen mit den Neigungsrichtungen der Kopfachsen der Fall war. Die Kreuzwinkel der Bogengangebene bleiben natürlich unverändert, wie dies ja auch in unseren Versuchen, dank dem Bestreben zur Einhaltung des rechten Winkels²⁾, der Fall war. Dem Anschein nach gibt also die Beobachtung der Neigungen der Bogengangebene keinen Aufschluss über den Mechanismus der hier beobachteten Täuschungen, — aber auch nur dem Anscheine nach. Wenn wir einen Augenblick die Ebenen der Bogengänge als beliebige Ebenen eines physikalischen Koordinatensystems betrachten wollen, in welchen die Bezeichnungen als horizontal und vertical nur für die eine gegebene Stellung des Systems gültig sind, die bei den Drehungen des Systems nothwendig wechseln müssen, so erhält man Folgendes: Bei der Drehung des Schädels um die sagittale Achse nach links entspricht die Schiefstellung des früheren horizontalen Bogenganges der Schiefstellung der Linie LV und die Schiefstellung der früheren verticalen Ebene der Linie LH . Das Gegenteil tritt natürlich ein bei der Rechtsdrehung des Schädels, wo die entsprechenden Ebenen den Linien RV und RH gleicheneigt sind. Das heisst also: Bei den Drehungen der Ebenen werden die horizontalen mehr oder weniger vertical, die früheren verticalen horizontal gestellt. Geschähe die Drehung genau um einen Winkel von 90° , so müsste diese Umwandlung der Ebenen eine vollkommene sein.

Mit anderen Worten: Wenn es sich um ein rein physikalisches Koordinatensystem von drei senkrechten Ebenen gehandelt hätte, so würde der Mechanismus der Täuschungen bei Drehungen des Kopfes um seine sagittale Achse sich leicht aus einer solchen Umwandlung erklären lassen: die gezeichneten Linien würden dann genau der Schiefstellung der Ebenen entsprechen.

1) Es ist vorthailhaft, bei diesen Vergleichen mit den Figuren ein Kartonmodell, das die senkrecht zu einander stehenden Ebenen darstellt, in der Hand zu haben.

2) Siehe oben Abschnitt 2, S. 12 u. ff.

Wir haben es aber hier mit einem physiologischen Coordinatensystem zu thun, und einer solchen einfachen Deutung stellt sich das Gesetz der specifischen Energien entgegen. In der That haben sämtliche Experimente, die ich während der 30 Jahre angestellt habe, ergeben, dass, wie ich mich schon im Jahre 1873 ausgedrückt habe, „jeder Bogengang mit der einen Richtung des Raumes in Beziehung steht“. Dies folgte auch schon theilweise aus den Versuchen von Flourens, wie aus allen anderen an den einzelnen Bogengängen ausgeführten Experimenten (siehe u. A. 14).

Es fragt sich daher, ob man berechtigt sei, eine Umwandlung der Verrichtungen der einzelnen Bogengänge, je nach ihrer Verstellung, im Raume anzunehmen, wobei also der horizontale Bogengang als verticaler und der verticale als horizontaler functioniren könnte.

In dieser Form wäre eine derartige Annahme keineswegs zulässig; sie ist auch kaum erforderlich. Der Sachverhalt kann ein anderer sein. Wir haben schon in unseren früheren Untersuchungen mehrmals erörtert, dass aus der Congruenz der Empfindungen der beiden Bogengangpaare sich in unserm Gehirne die Vorstellung eines idealen rechtwinkligen Coordinatensystems bildet, auf das sämtliche Empfindungen unserer anderen Sinne, zum Zwecke der Orientirung in einem dreidimensionalen Raume, projecirt werden. Dieses ideale Coordinatensystem wird nun bei den Drehungen des Kopfes verstellt werden, und, wie bei jedem geometrischen System von solchen Coordinaten, wird dabei deren Bedeutung als verticale oder horizontale Coordinaten, nothwendiger Weise, mit jeder Verstellung wechseln müssen. Die Annahme einer solchen Umwerthung der Coordinatenebenen ist aber zulässig, ohne dass dabei das Princip der specifischen Energien für die Bogengänge selbst irgendwie verletzt wäre.

Wir würden also die verticalen und horizontalen Richtungen in einer Schiefstellung, die entgegengesetzt der Kopfneigung ist, wahrnehmen, weil die Richtungen des idealen Coordinatensystems bei der entsprechenden Kopfneigung schief und entgegengesetzt geneigt werden. Bei unseren jetzigen, noch sehr mangelhaften Kenntnissen über die Art, wie die Nervenendigungen in den Bogengängen von den Schallwellen getroffen und erregt werden,

kann eine solche Erklärung der uns hier interessirenden Richtungstäuschungen aus den Drehungen der Bogengangebenen schon als befriedigend betrachtet werden. Sie kann eventuell noch eine Stütze, und sogar eine Ergänzung, in dem Versuche einer rein psychologischen Deutung finden, die ich, der Kürze wegen, in meiner vorläufigen Mittheilung allein angeführt habe (4, Seite 589). Dieser Versuch beruhte auf der Verknüpfung der Wahrnehmungen gewisser Kopfstellungen mit bestimmten Empfindungen der Schallrichtungen, welche diesen Kopfstellungen entsprechen¹⁾. Wir neigen z. B. unseren Kopf zur linken Schulter jedes Mal, wenn wir unser Gehörorgan so einstellen, dass es die Richtung eines von rechts oben kommenden Schalles genauer zu bestimmen vermag.

Diese Kopfneigung, wie die entsprechende Vorstellung der Bogengangebenen, sind desshalb mit der Wahrnehmung einer schiefen Richtung, die von oben rechts, dem rechten Trommelfell, nach unten links, zum linken Gehörorgan, geneigt ist, associirt. Daher die Schiefstellung der verticalen Linie in unseren entsprechenden Versuchen.

An sich allein ist diese psychologische Erklärung der Täuschung schon darum unzureichend, weil wir die horizontale Richtung auch dann schief angeben, wenn wir dieselbe noch vor der verticalen ausführen (siehe oben S. 151 und ff.). Diese Schiefstellung kann aber nur, mit Zuhülfenahme des Bestrebens zur Einhaltung des rechten Winkels, gedeutet werden, also nur mit Hülfe der Verstellung des ganzen Coordinatensystems.

Noch an eine dritte Erklärungsweise der Täuschungen bei Drehungen des Kopfes um die sagittale Achse dachte ich bei dem Studium der Verstellungen der Bogengangebenen an dem offenen Schädel. Die Richtungen der Täuschungen der verticalen und horizontalen Linien entsprechen nämlich ziemlich genau den Neigungen der Achsen der verticalen²⁾ und horizontalen Bogengänge. Schon im Jahre 1878 habe ich bei der Beschreibung der gezwungenen Drehungen, welche die Thiere bei der Durchschneidung resp. der Reizung der einzelnen Bogengangpaare ausführen, besonders hervorgehoben, dass diese Drehungen um die Achsen dieser Bogengänge

1) Siehe oben S. 186 u. ff.

2) Natürlich desjenigen verticalen Bogengangs, der bei der Kopfneigung höher gestellt ist, wie dies soeben auf Seite 234 auseinandergesetzt wurde.

geschehen. So z. B. bewegen sich die Thiere bei der Durchschneidung der beiden horizontalen Bogengänge um die verticale Achse derselben, bei Zerstörung der verticalen (hinteren) um die horizontalen Achsen dieser letzteren¹⁾.

Welche Beziehung besteht nun zwischen dieser gezwungenen Drehung der Thiere um bestimmte Achsen zerstörter oder verkrüppelter²⁾ Bogengänge und den Erregungsweisen derselben bei ihrem normalen Functioniren? Darüber vermögen wir bis jetzt nicht einmal Vermuthungen anzustellen. Es ist also unmöglich, irgend welche bestimmte Anhaltspunkte für die Verknüpfung der analogen Schiefstellungen der Bogengangachsen mit den Täuschungen in den Richtungen zu finden. Die obige Thatsache selbst verdient aber hervorgehoben zu werden, da sie vielleicht in inniger Beziehung steht zu den mehrmaligen Verwechslungen bei der Aufzeichnung der Täuschungen in der sagittalen Richtung mit der verticalen, von denen oben im Abschnitt 6 die Rede war. Gewöhnlich geschehen bei den Kopfeigungen zur Schulter solche Verwechslungen nur für die eine Richtung, wie z. B. in der Figur 14 die Linie *Ls*. Die Drehachse des sagittalen Bogengangs der einen Seite ist aber die nämliche, wie die der verticalen der anderen Seite.

Es bedarf wohl keiner längeren Beweise, dass bei der Identität der Aubert'schen Täuschung mit der von mir beobachteten die für die letzteren gegebenen Deutungen, ohne Schwierigkeit, auch auf das Aubert'sche Phänomen anwendbar sind. Ich versuchte aber, während der im Abschnitt 11 mitgetheilten Beobachtungen, für den Gegensatz, der zwischen der Neigung des Nachbildes und der der hellen Linie (S. 220) besteht, eine Erklärung in einer ganz anderen Richtung zu finden.

Es ist mir unmöglich, hier auf die Details einzugehen. Der Ideengang, welchem ich bei dieser Erklärung folgte, ist aber jedenfalls ein fruchtbarer. Da die Frage vielleicht von späteren Forschern einer weiteren Erörterung für würdig gehalten werden kann, so will ich denselben hier kurz erläutern.

Wie bekannt, sind die bisher gemachten Versuche, um die Umkehr des Netzhautbildes in unserem Bewusstsein zu erklären, zu

1) Siehe auch meine Mittheilung 14.

2) Wie bei den japanischen Tanzmäusen.

keinem befriedigenden Resultate gelangt. Die Hypothese von Johannes Müller lehrt, eine solche Umkehr finde nicht statt, und wir sehen die Aussendinge in der That nicht da, wo sie wirklich sind. Was wir unten sehen, liegt oben; was rechts unsere Netzhaut erregt, liegt links und so weiter. Wir geben uns aber keine Rechenschaft davon, weil wir nicht mit den Objecten selbst zu thun haben, sondern mit ihrer Wirkung auf unser Nervensystem; und da wir Alles verkehrt sehen, so ändert sich der allgemeine Eindruck nicht. Diese paradoxe Hypothese ist schon von Ludwig und Anderen als unhaltbar abgelehnt worden. Nach der ihr entgegengestellten Hypothese sollen die empfindenden Netzhautpunkte die Ursache ihrer Erregung, in einer mit der Sehachse gekreuzten Richtung nach aussen projeciren, und so die Objecte zu unserer Wahrnehmung in ihre wirkliche Lage bringen. Diese Hypothese ist ebenfalls wenig befriedigend, da sie die Erklärung schuldig bleibt, warum und wie diese Projection der Erregungsursachen nach aussen in gekreuzter Richtung stattfinden soll.

Die heikle Frage nach der Ursache der Umkehr unserer Netzhautbilder wird daher in den meisten Lehrbüchern der Physiologie nicht einmal einer ausführlichen Erörterung unterzogen.

Durch die Feststellung der Thatsache, dass unsere Gesichtseindrücke, wie übrigens auch die Empfindungen der anderen Sinnesorgane, durch Projection auf ein ideales rechtwinkliges Coordinatensystem, das in unserem Bewusstsein durch die Verrichtungen der Bogengangapparate gebildet wird, in dem äusseren Raume localisirt werden, wird die Erklärung der Umkehr unserer Netzhautbilder bedeutend vereinfacht. Es gehört nur dazu die sehr plausible Annahme, dass bei dieser Projection eine Umkehr der Netzhautbilder stattfindet, um das Problem ganz einfach zu lösen. Es wird dadurch schon dieser Vortheil erzielt, dass eine solche Orientirung aller unserer Sinnesempfindungen auf ein und denselben Wege, die volle Harmonie in unserer Wahrnehmung der Beziehungen der äusseren Objecte zu unserem Körper und vice versa, gestattet. Wogegen die früheren Hypothesen, besonders die Müller'sche, unvermeidlich einen Conflict, zwischen den Wahrnehmungen der gesehenen Objecte und denen der betasteten herbeiführen müsste.

Die Annahme, dass die negativen Bilder der Netzhaut eine Umwerthung in positive, bei ihrer Projection auf das Coordinatensystem, erleiden, das unserem Bewusstsein durch die Richtungsempfindungen

geliefert wird, — diese Annahme hatte schon in meinen Versuchen der siebziger Jahre gewichtige Stützen gefunden. Es soll nur auf die Versuche hingewiesen werden, welche ich mit *Solucha* angestellt habe, und in denen es uns gelungen war eine vollkommene Desorientirung der Tauben durch die Anwendung prismatischer Brillen zu bewirken. Sämmtliche Zwangsbewegungen, die sonst nur durch die Zerstörungen der Bogengänge hervorgerufen werden, — wir erzeugten sie mit Hülfe solcher Brillen.

Die nämlichen Bewegungsstörungen erhielten wir bei Hunden durch die Durchschneidungen der Nackenmuskeln nach der Methode von Longet. Auch hier wurden sie erzielt durch die gestörte Orientirung der Netzhautbilder, in Folge der ungewohnten oder falschen Uebertragung auf das Coordinatensystem der Bogengänge.

Unter den Beobachtungen, die in meiner ausführlichen Arbeit von 1878 (2) mitgetheilt wurden, befand sich eine, die als directe Demonstration der Richtigkeit der eben formulirten Annahme gelten könnte. Die Beobachtung besteht im Folgenden: Tauben mit verletzten oder einseitig zerstörten Bogengangapparaten zeigten einige Zeit nach der Operation eine eigenthümliche Kopfhaltung: Die ganze Stellung des Kopfes wurde vollständig umgekehrt; der Schnabel wurde nach oben hinten, das Occiput nach unten vorn gerichtet; das rechte Auge befand sich also links, wie auch die übrigen Gesichtstheile umgelagert wurden. Die sämmtlichen Netzhautmeridiane lagen verkehrt. Das grosse Interesse dieser Kopfhaltung bestand nun darin, dass die Thiere nur bei dieser Kopfhaltung ihre gewaltige Zwangsbewegungen los werden, und das Gleichgewicht zu behalten, vermochten. Der leiseste Versuch, den Kopf in seine normale Haltung zu bringen, genügte, um die heftigen Bewegungen von Neuem hervorzurufen. Die Taube gelangte erst zur Ruhe, wenn sie die verkehrte Kopfhaltung wieder einnehmen konnte. Dann konnte sie Stunden lang sich ganz ruhig verhalten und auch kleine Bewegungen zweckmässig ausführen.

Seitdem hat Hermann Munk eine ganz ähnliche Beobachtung an einer Taube beschrieben, die an einem angeborenen Mangel des Ohrlabyrinths auf der einen Seite litt.

Wie kann man die Fähigkeit solcher Thiere mit einem Ohrlabyrinth, mit Hülfe der soeben beschriebenen eigenthümlichen Kopfhaltung ihr Gleichgewicht zu erhalten, und von den Zwangsbewegungen, die durch ihre Desorientirung erzeugt sind, befreit zu werden, er-

klären? Ich finde nur die eine zutreffende Erklärung: Diese Thiere sind durch die Zerstörung des Ohrlabyrinths der Möglichkeit beraubt worden, ihre negativen Netzhautbilder durch Projection auf das Coordinatensystem des Ohrlabyrinths in der gewohnten Weise zu projiciren, also gleichzeitig in positive Bilder zu verwandeln. Sie sehen also alle sie umgebenden Gegenstände verkehrt; weder vermögen sie das Gleichgewicht zu erhalten, noch die nothwendigen zweckmässigen Bewegungen zu machen, um sich im äusseren Raume zu orientiren. Sie befinden sich also in ähnlicher Lage wie die Tauben mit den prismatischen Brillen in unseren soeben erwähnten Versuchen.

Sie geben alsdann ihrem Kopfe, also auch ihren Augen, die beschriebene verkehrte Stellung. Die Bilder, die sie von den äusseren Objecten auf ihren verkehrt gestellten Netzhautpunkten erhalten, entsprechen also der wirklichen Lage der Objecte. Beim Mangel des normal functionirenden Ohrlabyrinths ersetzen die Tauben die gewohnte Verwandlung ihrer negativen Netzhautbilder in positive dadurch, dass sie ihre Netzhäute verkehrt einstellen.

Bei der Aubert'schen Täuschung konnte daher die Frage aufgeworfen werden, ob wir, besonders beim Aufblitzen der hellen Linie im dunklen Raume, nicht darum die helle Linie schief in entgegengesetzter Richtung zur Kopfneigung sehen, weil wir beim Mangel anderer äusserer Orientirungsobjecte und bei der ungewohnten Stellung der Bogengänge nur ihr negatives Netzhautbild sehen. Bei der Wahrnehmung des Nachbildes eines vorher im beleuchteten Raume und in gewohnter Weise positiv umgekehrten Bildes dagegen, kommt die geneigte Stellung der Bogengänge nicht in Betracht.

Wie gesagt, ich dachte einen Augenblick an eine solche Erklärung der Thatsache, dass wir gleichzeitig das Nachbild der Kopfneigung folgend empfinden, und die helle Linie die entgegengesetzte Richtung einschlagen sehen.

Auch die Deutung der übrigen hier beobachteten Täuschungen in der Wahrnehmung der Richtungen konnte, ohne zu grosse Schwierigkeiten, mit der soeben angedeuteten in einen gewissen Einklang gebracht werden.

Um diese Deutung genauer zu prüfen, musste eine Reihe specieller Versuche angestellt werden, an deren Ausführung ich durch meine Erkrankung verhindert wurde.

Aus dem bisher Auseinandergesetzten folgt jedenfalls, dass die Deutung der meisten in dieser Untersuchung mitgetheilten Täuschungen keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bietet, wenn man dabei von dem richtigen Standpunkt ausgeht, die Ursache aller dieser Täuschungen nur in den Verstellungen der Bogengangebenen zu suchen.

Ich bin an grössere Hindernisse bei meinen Versuchen gestossen, eine befriedigende Erklärung für die Thatsache zu finden, dass bei G. sämtliche Täuschungen in der Wahrnehmung der verticalen Richtung immer die gleiche Neigung wie die Richtung der Kopfdrehung zeigten ¹⁾. In der vorläufigen Mittheilung habe ich auf die Thatsache hingewiesen, dass G. Linkshänder ist oder, richtiger, in seiner Kindheit Linkshänder war. Dies äusserte sich, ausser dem gewöhnlichen Ueberhandnehmen der linken Körperhälfte bei den Bewegungen, auch in einigen Eigenthümlichkeiten, die mit dem Richtungssinne in Verbindung zu stehen scheinen. Als er anfang, schreiben zu lernen, war es eine grosse Schwierigkeit, ihn davon abzubringen, gewisse Buchstaben, wie K, R, B, verkehrt zu schreiben. Die Ziffern 4 und 7 pflegte er noch in seinem siebenten Jahre häufig verkehrt zu schreiben. Beim Zeichnen von Köpfen richtete er das Profil, nicht, wie die meisten Kinder, nach links, sondern nach rechts. Noch unlängst aufgefordert, auf einem Papierstreifen, der ihm auf die Stirn befestigt war, seinen Namen zu schreiben, griff er sofort mit der linken Hand nach der Feder und schrieb Spiegelschrift, u. s. w.

Es war also ziemlich angezeigt, in dieser Eigenthümlichkeit eines Linkshänders die Ursache des verschiedenen Verhaltens von G. bei dem Aufzeichnen der Täuschung in der verticalen Richtung zu sehen. Die von einem bekannten Ohrenarzt bei dieser Gelegenheit vorgenommene Prüfung seiner Hörschärfe ergab, dass auch sein linkes Gehörorgan etwas empfindlicher als das rechte sei.

Alle diese Indicien sind aber noch nicht im Stande, zu erklären, warum ein Linkshänder, bei Drehungen seines Kopfes um die sagittale Achse, keinerlei Täuschungen in der Bestimmung der verticalen unterliegen soll, weder denen von Aubert noch denen, die in den

1) Einige Versuche, die ich an einem neunjährigen Violinspieler machte, zeigten, dass die Ursache nicht in der gewohnten Linksneigung des Kopfes beim Violinspielen liegen konnte, denn bei diesem Knaben zeigte die Täuschung in der verticalen Richtung denselben Charakter wie bei den anderen Versuchspersonen.

Abschnitten 4, 6 und 9 beschrieben sind. Es muss sich dabei sicher noch um ein psychologisches Zwischenglied handeln, über welches es voreilig wäre, irgend welche Vermuthungen anzustellen. Es soll nur daran erinnert werden, dass ich schon in der Untersuchung „Bogengänge und Raumsinn“ vom Jahre 1897 Gelegenheit hatte, eine analoge Resistenz von G., damals einem vierjährigen Knaben, gegen gewisse Täuschungen zu constatiren. So unterlag er auch nicht der gewohnten Täuschung bei der Auffahrt mit der Abt'schen Bahn; er sah die Bäume und die Telegraphenstangen immer vertical, auch bei dem steilsten Aufsteigen. Die Illusion des Nichtparallelismus beim Ansehen des Zöllner'schen Musters äusserte sich dagegen bei ihm ganz in derselben Weise wie bei anderen Personen (9, S. 33). Auch sonst zeigte er in seiner zartesten Jugend eine ganz ungewöhnliche Schärfe für Beobachtungen, die seinen eigenen Körper betreffen¹⁾.

Wie schon oben gesagt, erklärte er selbst, dass er die verticalen Linien in der Richtung der Kopfneigungen zeichnete, weil er durch den Anblick von Fensterkreuzen weiss, dass der verticale Stab, bei zur Schulter geneigtem Kopfe, sich zur selben Seite zu neigen scheint, wie der Kopf. Er zeichnet daher die Verticale, so wie er sie bei Neigungen des Kopfes im hellen Raume sieht. Dies mag wohl zum Theil richtig sein; aber dies erklärt weder, warum er den Schall ebenfalls in der entsprechenden Richtung hört, noch warum er den Täuschungen in der horizontalen Richtung ebenso wie die Anderen unterliegt. Für die Einhaltung des rechten Winkels wäre ja die Aufzeichnung dieser Linie in entgegengesetzter Richtung viel vortheilhafter. Auch bleibt es bei seiner Erklärung unverständlich, warum er auch bei dem besten Willen unter denselben Umständen nicht

1) Seit dem Momente seiner Geburt bis zum vollendeten achten Jahre habe ich die psychische Entwicklung von G. einer fast ununterbrochenen Beobachtung unterzogen, ohne ihn dabei den sonst üblichen störenden und vieldeutigen Experimenten zu unterziehen. Die Protokolle meiner Beobachtungen sind genau geführt worden, und unternahm ich vor vier Jahren, dieselben für eine Schrift über die Psychologie des Kindes („La Genèse d'une intelligence“) zu verwerthen. Andere Probleme nahmen mich aber zu sehr in Anspruch, und so weiss ich nicht, ob es mir noch vergönnt sein wird, diese Schrift zu vollenden. Ich könnte hier Dutzende von Beispielen anführen, die bei G. eine angeborene Tendenz zeigen, über Dinge sich seine eigenen originellen Anschauungen zu bilden und, selbst durch autoritativ vorgebrachte Ansichten, sich nicht täuschen zu lassen.

willkürlich die verticale Linie in entgegengesetzter Richtung auszuführen vermag. Höchstens gelang es ihm dabei, die gewohnte Neigung der Verticalen auf ein Minimum zu reduciren, wie in der Fig. 5.

Erneuerte Versuche an anderen Kindern, besonders aber an Linkshändern, auch an erwachsenen, werden wohl nähere Aufklärung in dieser Frage bringen.

14. Nachwort.

Mit dieser Mittheilung ist die Reihe meiner, vor mehr als dreissig Jahren begonnenen, experimentellen Untersuchungen über den Raumsinn abgeschlossen. Keine andere physiologische Forschung hat mir so viel schwere Arbeit, so viel geistige Anstrengung und, in den letzten Jahren, so viel Kopfzerbrechen und schlaflose Nächte verursacht wie die Bearbeitung des neuen Capitels der Physiologie, das den Verrichtungen des sechsten Sinnes gewidmet ist.

Mit der experimentellen Feststellung eines speciellen Sinnesorganes im Ohrlabyrinth für die Orientirung in den drei Richtungen des Raumes war die Aufgabe, die ich mir gestellt hatte, nicht erschöpft. Es handelte sich noch darum, die Bedeutung dieses Sinnesorganes für die Bildung unserer Vorstellungen von einem dreidimensionalen Raume zu verwerthen und so das Raumproblem, das seit Jahrtausenden den Philosophen und Mathematiker beschäftigt hat, einer Lösung entgegenzuführen. Nach allen diesen Richtungen hin glaube ich mit den Endergebnissen mühevoller Arbeit nicht unzufrieden sein zu dürfen. Die in den letzten Jahren ausgeführten Untersuchungen, sowie die vielen polemischen Erörterungen mit den Gegnern meiner Lehre vom Raumsinn, haben nicht nur deren experimentelle Basis bedeutend erweitert, sondern auch die volle Gültigkeit der Grundlagen, die ich schon im Jahre 1878 geschaffen habe, definitiv gekräftigt.

Es kann gewiss als ein werthvolles Zeugnis für die Zuverlässigkeit meiner Auffassung der Verrichtungen des Ohrlabyrinths betrachtet werden, dass die wichtigsten Ergebnisse, sowohl meiner eigenen neuen Forschungen als der anderer Physiologen, ausgeführt an einer grossen Anzahl der verschiedensten Thierarten und, letzstens, auch an Menschen, zu den identischen Schlussfolgerungen geführt haben, wie sie von mir schon in der betreffenden Arbeit von 1878 formulirt wurden:

„Die halbkirkeltörmigen Canäle,“ schrieb ich damals (2, S. 311), „sind die peripherischen Organe des Raumsinns, d. h. die Empfindungen, welche durch die Erregung der in den Ampullen dieser Canäle sich verbreitenden Nervenendigungen hervorgerufen werden, dienen dazu, unsere Begriffe von den drei Dimensionen des Raumes zu construiren. Die Empfindungen eines jeden Canales entsprechen einer dieser Dimensionen.“ Auf S. 319 derselben Arbeit schrieb ich: „Wir verstehen jetzt, wesshalb es gerade ein Raum von drei Dimensionen ist, der unserer Euklid'schen Geometrie zur Grundlage dient. Die geometrischen Axiome erscheinen uns somit als durch die Grenzen unserer Sinnesorgane auferlegt.“

Ja, sogar über die Bedeutung des durch die Empfindungen des Bogengangapparates gebildeten Coordinatensystems für die in unseren Bewusstsein stattfindende Umkehr der Netzhautbilder, habe ich im Jahre 1878, auf den Seiten 323 bis 326, dieselben Argumente wie jetzt vorgebracht und namentlich die Beobachtung operirter Tauben mit dem umgestürzten Kopfe (Schnabel nach oben hinten und Hinterhaupt nach unten vorne) in derselben Weise erklärt wie hier in dem vorhergehenden Capitel (S. 103).

Jede neue Errungenschaft der Naturforschung, welche die traditionellen vorgefassten Anschauungen umstürzt, begegnet unabweislich einem hartnäckigen Widerstand. Es gehören Jahrzehnte, oft sogar Jahrhunderte dazu, um den menschlichen Geist mit dem ungewohnten Ideengang zu versöhnen. So wird es auch meiner Lehre von dem Raumsinn ergehen. In einer jetzt schon absehbaren Zeit wird aber der Physiologe staunen, dass eine so einfache Erklärung der Verrichtungen des Ohrlabyrinths, die schon aus rein morphologischen Gründen an sich so wahrscheinlich, dazu noch auf zahllosen experimentellen Beweisen gegründet war, während so vieler Jahre bei mehreren Fachgenossen auf Widerspruch stossen konnte. Musste ich ja selbst, beim Studium der Vorgeschichte des sechsten Sinnes (10, Cap. 7), meine Verwunderung darüber aussprechen, dass im Beginne des vorigen Jahrhunderts Autenrieth, Venturi und besonders Flourens, die doch so nahe daran waren, die wirkliche Bedeutung des Ohrlabyrinths als Raumorgan zu erkennen, an derselben doch vorbeigegangen sind; und dies, trotzdem Spallanzani schon mehrere Jahre vorher die Existenz eines sechsten Sinnes für die Orientirung (bei den Fledermäusen) auf die Tagesordnung gestellt hatte.

Es wird wohl viel längerer Zeit bedürfen, ehe die Metaphysiker, die während Jahrtausende das Raumproblem erörtert haben, ohne dasselbe auch nur um einen Schritt der Lösung näherzubringen,

sich meine Raumlehre aneignen werden. Stellten sich doch auch die bedeutendsten Metaphysiker allen Errungenschaften der Naturforschung immer feindselig gegenüber, wenn dieselben es gestatteten, Weltprobleme zu lösen, die ihren eigenen Bemühungen widerstanden hatten.

Bei einer polemischen Erörterung gegen einen Metaphysiker, Couturat, der, bei der Besprechung meiner Arbeit „Ueber die natürlichen Grundlagen der Geometrie von Euklid“, die eigenthümliche Ansicht aussprach, das Raumproblem gehöre gar nicht zur Competenz der Naturforscher, hatte ich die Gelegenheit die Philosophen daran zu erinnern, mit welchen naiven Argumenten sogar bedeutende Denker und Mathematiker wie Descartes und Leibnitz die Lehren von Copernicus, Galilei und Newton zu bekämpfen glaubten. Ich hätte noch viele andere Beispiele dieser Art anführen können, z. B. Bacon und Bernouilli. Weil Copernicus und Galilei mit den Aristotelischen Weltanschauungen im Widerspruch standen, die Jahrtausende den Menschegeist beherrscht hatten, wollten die erwähnten Metaphysiker, trotzdem sie doch selbst Meister exacter Methoden waren, die neuen Lehren nicht anerkennen.

Si parva licet componere magnis, so geschieht etwas Aehnliches mit meiner Lehre vom Raumsinn. Kant's Hypothese, von dem aprioristischen Ursprung unserer Anschauungen über den dreidimensionalen Raum, beherrscht noch jetzt die meisten Geister, trotzdem schon im vorigen Jahrhundert keine Geringeren als Gauss, Riemann, Helmholtz, — um nur von den grossen Mathematikern zu sprechen, — diese Lehre auf das Entschiedenste bekämpft haben.

Diejenigen, welche, Kant zu Liebe, meine Lehre vom physiologischen Ursprung unserer räumlichen Vorstellungen bekämpfen, lassen aber die Thatsache ausser Acht, dass Kant selbst Jahre lang den empirischen Ursprung unserer räumlichen Vorstellungen aus sinnlichen Wahrnehmungen vertheidigt hatte. Erst als er zur ganz richtigen Ueberzeugung gelangte, dass die Erfahrung unserer fünf Sinne nicht ausreichend seien, um die Anschauungen von einem Raume mit drei Ausdehnungen zu erklären, nahm er „in der Kritik der reinen Vernunft“ zur Hypothese des aprioristischen Ursprungs dieser Anschauungen seine Zuflucht (siehe 7, S. 593).

Ich kann hier getrost die Worte wiederholen, die ich schon dem erwähnten Angriff auf meine Lehre entgegengestellt habe:

„Quant aux métaphysiciens, il est tout naturel qu'une solution aussi inattendue d'un problème deux fois millénaire ait d'abord choqué leurs opinions préconçues et les habitudes invétérées de leur esprit. Mais mon explication étant définitive — au moins quant à l'origine de nos notions sur les trois dimensions de l'espace — force leur sera de reconnaître une fois de plus que la philosophie ne peut que gagner à voir un de ses problèmes les plus ardues élucidé à l'aide des méthodes précises, en usage chez les physiciens naturalistes“ (16, S. 89).

15. Berichtigung.

Ich bin dem Professor Killing (Münster) eine Berichtigung schuldig, die ich hier noch kurz erledigen will. In der Untersuchung über die physiologischen Grundlagen der Geometrie von Euklid (7, S. 598 und ff.) bin ich ausführlich auf die Principien der Geometrie von Ueberweg eingegangen und habe auf die grosse Aehnlichkeit seiner Grundlagen mit denen, welche Helmholtz später in seinen bekannten Untersuchungen über die Riemann'sche Raumgeometrie benutzt hatte, hingewiesen. Dabei erwähnte ich kurz, dass schon Professor Wassilieff auf diese Aehnlichkeit in zwei Mittheilungen vom Jahre 1900 aufmerksam gemacht habe.

Aus einem freundlichen Schreiben des Professor Killing vom 24. Juli 1901 erfuhr ich nun, dass das Verdienst, die Arbeit Ueberweg's als Vorläuferin den Helmholtz'schen Arbeiten zuerst gekennzeichnet zu haben, ihm zukomme.

„ . . . Ich möchte nur,“ schrieb er, „über Ueberweg's Arbeit etwas sagen, da Sie mit Recht dieser Abhandlung grosse Bedeutung beilegen. Soweit ich die Literatur kenne, habe ich zuerst auf diese Arbeit als eine Vorläuferin der bekannten Helmholtz'sche Abhandlung hingewiesen. Sie ist nur 17 Jahre älter als die Helmholtz'schen Arbeit, ihrem Inhalte überaus verwandt, sogar in den Ausdrücken vielfach übereinstimmend, nur in den Beweisen leider ganz ungenügend. Wenn z. B. Ueberweg aus seinem ‚Experiment‘ die Dreizahl der Dimensionen herleiten will, schiesst er weit über sein Ziel hinaus. Wassilieff ist erst durch mich auf die Arbeit hingewiesen, nachdem ich dieselbe, wenn auch nur kurz, in meiner ‚Einführung in die Grundlagen der Geometrie‘ besprochen hatte.“

Aus dieser „Einführung“ sollen hier nur einige Zeilen wiedergegeben werden: „Zudem zeigte Ueberweg's ‚Experiment‘ grosse Aehnlichkeit mit den ‚Thatsachen‘, von denen Helmholtz viele Jahre später ausging. Ob der Letztere die vorliegende Arbeit gekannt hat, wird sich wohl nicht ermitteln lassen; nur ist es auffallend,

dass Helmholtz häufig den Ausdruck ‚kugelige Flächen‘ gebraucht, wie Ueberweg von ‚kugeligen Orten‘ spricht.“ (17, S. 207.)

Solche Identität in den Ausdrücken, findet man auch mehrmals bei Helmholtz. So ist z. B. die Definition der geraden Linie, die er in der zweiten Auflage der Physiologischen Optik S. 336 gibt, genau die zuerst von Ueberweg angegebene. Die Frage, ob Helmholtz die Arbeit von Ueberweg gekannt hat, scheint mir also nur bejahend beantwortet werden zu müssen. Am Ende der 50er Jahren docirten Ueberweg und Helmholtz gleichzeitig in Bonn. Ueberweg, der, wenn ich nicht irre, im Jahre 1872 gestorben ist, war mehrere Jahre vor seinem Tode sehr leidend. Es ist also leicht möglich, dass der bekannte Vortrag von Helmholtz, im Jahre 1870 gehalten, nicht zu seiner Kenntniss gelangt war. Möglich auch, dass Ueberweg die Absicht hatte, seine Rechte Helmholtz gegenüber zu wahren, als er an die Herausgabe einer neuen Bearbeitung seines wirklich genialen Werkes über die Geometrie schreiten wollte; leider wurde er durch seinen frühen Tod daran verhindert (17, S. 207).

Jedenfalls gehört Professor Killing das Verdienst, die Rechte Ueberweg's in dieser für die Geometrie des Raumes so wichtigen Frage zuerst festgestellt zu haben.

L i t e r a t u r .

- 1) Max Verworn, Zeitschrift für allgemeine Physiologie Bd. 1 S. 8 u. ff. 1902.
- 2) E. v. Cyon, Gesammelte physiologische Arbeiten. Berlin 1888.
- 3) Derselbe, Die Functionen des Orlabyrinth. Dieses Archiv Bd. 71. 1898. Siehe auch 2, 9 u. 10. Diese Frage wurde auch resumirt im „Sens de l'Espace“. Dictionnaire de Physiologie de Richet vol. 5. 1901.
- 4) Derselbe, Beiträge zur Physiologie des Raumsinns. 2. Theil. Dieses Archiv Bd. 90. 1902.
- 5) Yves Delage u. Aubert, Physiologische Studien über die Orientirung. Tübingen 1888.
- 6) Nagel, Zeitschrift für Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane. Leipzig 1897.
- 7) E. v. Cyon, Die physiologischen Grundlagen der Geometrie von Euklid. Dieses Archiv Bd. 85. 1901.

- 8) Sachs u. Meller, Ueber die optische Orientirung u. s. w. Graeffe's Archiv für Ophthalmologie Bd. 52 S. 387.
 - 9) E. v. Cyon, Bogengänge u. Raumsinn. Archiv von Du Bois-Reymond Bd. 97.
 - 10) Derselbe, Ohrlabyrinth, Raumsinn und Orientirung. Dieses Archiv Bd. 78. 1900.
 - 11) Aubert, Archiv für pathol. Anatomie Bd. 20 S. 381. 1860.
 - 12) Helmholtz, Physiologische Optik, 2. Aufl. S. 763.
 - 13) Mulder, Archiv für Ophthalmologie Bd. 21. 1875.
 - 14) E. v. Cyon, Beiträge zur Physiologie 'des Raumsinns. 1. Theil. Dieses Archiv Bd. 89. 1902.
 - 15) E. P. Lyon, Americain Journal of Physiology vol. 3 no. 11.
 - 16) E. v. Cyon, La Solution scientifique du Problème de l'Espace. Revue Philosophique 2^e vol. 1902 p. 75.
 - 17) Killing, Einführung in die Grundlagen der Geometrie Bd. 2. 1898.
-